CONSERVAÇÃO DO SARAMUGO (*Anaecypris hispanica*) NA BACIA DO GUADIANA (PORTUGAL)

Relatório Final
Ação A5

Estudo de mecanismos de controlo de dispersão de Alburno – Barreiras à Progressão de Alburno

Universidade de Évora, 2017

lpn
liga para a protecção da natureza

UNIVERSIDADE
DE ÉVORA

ICNF
Instituto da Conservação
da Natureza e das Florestas

AQUALOGUS
Engenharia e Ambiente

Ação A5
Estudo de mecanismos de controlo de dispersão de Alburno:
Barreiras à Progressão de Alburno

Estudo efectuado por:

João Manuel Bernardo
Ana Manuel Costa
Paula Matono
Janine Silva

RESUMO

A Ação que é da responsabilidade da Universidade de Évora e acompanhada pelo ICNF e pela LPN, teve início em Agosto de 2014 e conclusão em Junho de 2017.

Nesta Ação pretendeu-se determinar os tipos de barreiras e as respetivas características com maior eficácia relativamente ao bloqueamento/redução da dispersão de Alburno e apoiar a decisão para a definição da melhor opção de barreira a implementar no terreno no âmbito da Ação C4. Após autorização da Comissão Europeia, a componente inicialmente prevista relativa a barreiras químicas (feromonas) foi substituída pela avaliação da eficácia de barreira de bolhas e som.

Assim, o trabalho no âmbito desta Acão envolveu a determinação para Alburno de: i) capacidade de transposição de obstáculos físicos por salto; ii) capacidade natatória; iii) resposta comportamental a diferentes tipos de correntes elétricas; iv) resposta comportamental a diferentes tipos de emissões sonoras e a barreiras de bolhas de ar.

Entre os resultados obtidos destacam-se:

i) Capacidade de salto: capacidade de salto para Alburno de 30 cm, sendo um dos fatores determinantes na limitação à transposição de obstáculos o declive (i.e. um ângulo superior a 90° que impossibilite ou fortemente limite a progressão por deslizamento), a falta de continuidade de superfície do obstáculo e uma pequena profundidade da água (inferior a 10 cm, que dificulta significativamente a preparação do salto e impede que os alburnos executem saltos de maior altura);

ii) Capacidade natatória: registaram-se velocidades natatórias entre 0,2 m/s e 0,5 m/s, significativamente inferiores a valores já observados na natureza em curtas distâncias;

iii) Resposta a corrente elétrica contínua: evidenciou a eficácia de correntes de 350V, 500V e 650V, com pulsos e pico de corrente por pulso de 10 kwatts e frequências de 20 a 80 pulsos/s, provocando um comportamento de evitamento por parte do Alburno a distâncias de 8-9 m, mantido com frequência de 20 descargas/minuto sendo a duração de cada descarga de 0,5 s;

iv) Cortina de bolhas de ar: não revelou eficácia como barreira capaz de bloquear os movimentos dos peixes, embora tenha alguma capacidade de os condicionar;

v) Resposta a objectos sonoros: determinadas sequências sonoras com transientes ascendentes e descentes sobrepostos dentro do intervalo de frequências 100-1000Hz revelou, numa fase incial, capacidade de bloquear os movimentos de aproximação à fonte acústica; com a habituação, no entanto, essa resposta comportamental de evitamento atenuou-se e desapareceu;

vi) A resposta a uma barreira mista de bolhas e som não revelou um evitamento superior ao observado com cada uma das barreiras testada isoladamente e na situação de maior eficácia.

SUMMARY

This action was executed by the University of Évora and took place from august 2014 to june 2017. The purpose of this action was to test several types of barriers and identify the characteristics of each type that are more effective in the blocking/reduction of bleak dispersion and to support the decision on the best barrier option to be implemented under action C4. Following the authorization from the European Commission, the initially planned component on chemical barriers (pheromones) was replaced by the evaluation of bubbles and sound barriers efficiency.

Therefore, this action involved the determination for bleak of: i) the leaping performance to transpose physical obstacles; ii) swimming speed; iii) behavioral response to different types of electric currents; iv) behavioral response to different types of sound emissions and air bubble barriers.

Main results are:

i) Leaping performance: the jump capacity of bleak is about 30 cm, being the determinant factors for limiting the obstacle transposition the slope (i.e. an angle larger than 90° that precludes or strongly limits the progression by sliding), the lack of surface continuity of the obstacle and a small depth of water (less than 10 cm, which significantly hinders the jump preparation and prevents the higher jumps);

ii) Swimming capacity: current velocities between 0.2 m/s and 0.5 m/s were recorded, which were significantly lower than the values already observed in nature for short distance swimming;

iii) Response to continuous electric current: results show the efficiency of currents of 350V, 500V and 650V, with pulses and current peak per pulse of 10 kwatts and frequencies of 20 to 80 pulses/s, causing an avoidance behavior by the bleak at distances of 8-9 m, maintained with a frequency of 20 discharges/minute with a duration of 0.5 s each;

iv) Air bubbles barrier: did not reveal to be effective as a barrier capable of blocking the movements of fish, although it has some capacity to condition them;

v) Response to sound: certain sound sequences with upstream and downstream chirps superimposed within a frequency range of 100-1000Hz revealed, at an early stage, the ability to block the movements of fish towards the acoustic source; with habituation, however, this behavioral response of avoidance decreased and disappeared.

vi) The response to a mixed barrier of bubbles and sound did not reveal to cause an avoidance response larger than the observed for each barrier alone under conditions of maximum efficiency.

INDICE

1. Introdução e objectivos gerais 10

2. As Barreiras para peixes **12**

2.1. As espécies invasivas e a utilização de barreiras 12

2.2. Breve revisão da literatura 14

2.2.1. Barreiras eléctricas 14

2.2.2. A sensibilidade acústica dos peixes e as barreiras acústicas 15

2.2.3. Cortinas de bolhas 18

2.2.4. Sistemas mistos de bolhas e som 18

3. Trabalho experimental realizado **20**

3.1. Barreiras físicas 20

3.1.1. Capacidade de Salto 20

3.1.1.1. Objectivo 20

3.1.1.2. Material e métodos 20

3.1.1.3. Resultados 21

3.1.2 Capacidade de progressão natatória contra a corrente 23

3.1.2.1 Objectivo 23

3.1.2.1. Material e Métodos 23

3.1.2.2. Resultados 23

3.2. Barreira Eléctrica 24

3.2.1 Introdução 24

3.2.2. Material e Métodos 24

3.2.3. Resultados 25

3.3. Barreiras de Bolhas e de Som 26

3.3.1. Objectivos 26

3.3.2. Material e Métodos 26

3.3.2.1. Canais 26

3.3.2.2. Equipamento 29

3.3.2.3. Produção e teste de objectos sonoros 34

3.3.2.4. Peixes 47

3.3.3. Resultados 47

3.3.3.1. Cortinas de bolhas 47

3.3.3.2. Barreira som 48
3.3.3.3. Barreira de Bolhas e Som 51

4. Análise dos resultados e conclusões 52

5. Referências 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura dos saltos efectuados (cm) e profundidade da água no reservatório (cm) no momento do salto 22

Figura 2. Altura dos saltos com deslizamento (cm) observados e profundidade da água no reservatório (cm). 22

Figura 3. Resposta comportamental dos alburnos a corrente eléctrica contínua de 500V de diversas frequências: Frequência 1 - 20 a 40 pulsos/s, Frequência 2 - 50 a 60 pulsos/s, Frequência 3 - 70 a 80 pulsos/s. 25

Figuras 4 e 5. Aspectos do canal pequeno antes da intervenção efectuada, vendo-se perdas de água por fissuras e mau isolamento de placas. 27

Figuras 6 e 7. Reparações no corpo principal e na parte anterior. 28

Figuras 8 e 9. Limpeza do depósito e rampas montadas no murete da comporta de guilhotina. 28

Figuras 10 e 11. Canal pequeno após intervenção. Imagem esquerda: aspecto geral do canal em fase de pintura, observando-se o corpo principal do canal, a comporta de guilhotina levantada e o canal estreito de descarga para jusante desta. Imagem direita: canal cheio, vendo-se ao fundo o depósito. 28

Figuras 12 e 13. Canal grande em fase de limpeza, em vistas de ângulos opostos. Na imagem da esquerda pode-se observar em primeiro plano o murete que constitui a barreira final do canal utilizado nos testes. 29

Figuras 14 e 15 . Compressor montado em placa colocada sobre o depósito do canal pequeno. São visíveis o disjuntor e a válvula de esfera montada na saída by-pass (fotografia esquerda) e o tubo de admissão com filtro de ar (fotografia direita). 30

Figura 16. Mangueira perfurada montada em barra de ferro. 31

Figura 17. Cortina de bolhas produzida com mangueira MRH. 32

Figura 18. Cortina de bolhas produzida com mangueira de orifícios em linha. 32

Figura 19. Bolhas de ar produzidas pela mangueira BSCL 32

Figura 20. Bolhas de ar produzidas pela mangueira MRH 33

Figura 21. Bolhas de ar produzidas pela mangueira de orifícios em linha. 33

Figura 22. Peixes acabando de contornar a fonte sonora 50

Figura 23. Peixes evitando a aproximação à fonte sonora 50

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS GERAIS 1

A rápida dispersão de Alburno, umas das mais recentes introduções piscícolas registadas, pelas bacias hidrográficas de Portugal, e designadamente pela do Guadiana, é motivo de particular preocupação dado o potencial invasor, a capacidade predatória e a proximidade genética com o Saramugo.

Pretendeu-se, nesta Ação, determinar os tipos de barreiras e as respectivas características com maior eficácia relativamente ao bloqueamento/redução da dispersão de Alburno. Para atingir este propósito, propôs-se determinar a capacidade de transposição de barreiras físicas, a performance natatória, a resposta a campos elétricos e a resposta de evitamento perante compostos químicos "de alarme".

Efectivamente previra-se avaliar a viabilidade de utilização de barreiras químicas, concretamente feromonas, à progressão de Alburno, por ser uma área de investigação que se considerara promissora e que poderia no futuro constituir uma opção no quadro das barreiras não físicas à progressão de espécies piscícolas indesejáveis. A possibilidade de utilizar compostos que provoquem uma resposta de alarme, e, portanto, de evitamento e fuga, seria particularmente interessante já que evitaria o recurso a soluções estruturais, com impactos negativos a vários níveis. A revisão exaustiva da literatura e as discussões havidas no Workshop do projecto, designadamente com Peter Sorensen (Universidade de Minnesota), investigador com larga experiência em barreiras para peixes, indicam que os estudos com feromonas envolvem uma investigação complexa e morosa, sendo muito pouco provável que no período de tempo do presente projeto se alcancem progressos significativos que permitam uma resposta viável. Para Sorensen, esta poderá ser uma solução a considerar num horizonte temporal de 30 anos, mas seguramente não num futuro próximo. Acresce que existe a suspeita de que a resposta de evitamento do alburno à feromona de alarme seja nula na ausência de luz ou numa segunda exposição à feromona (Jachner 1996).

Neste sentido, propôs-se que essa componente da Ação (feromonas) fosse substituída por outra, inicialmente não prevista, relativa a barreira de bolhas e de som, dispositivos para os quais existem algumas décadas de estudos com resultados que podem ser considerados como promissores. Efectivamente, no domínio da gestão piscícola, tem-se vindo a assistir a um aumento de interesse na utilização de sistemas baseados em reacções comportamentais e, dentre estes, as barreiras de bolhas e som são uma solução com algum grau de eficácia para barrar movimentos ou encaminhar os peixes. Diversas barreiras deste tipo têm vindo a ser instaladas na Europa e EUA, algumas incorporando também componente luminosa.

Os objectivos do trabalho no âmbito desta ação seriam assim a determinação para Alburno de:

- capacidade de transposição de obstáculos físicos por salto;
- capacidade natatória;
- resposta comportamental a diferentes tipos de corrente elétrica;
- resposta comportamental a diferentes tipos de emissões sonoras e a barreiras de bolhas de ar.

O objectivo final desta acção A5 é, com base no grau de eficácia das diversas alternativas em estudo no bloqueio da progressão de alburno, informar a decisão relativa à implementação de um dispositivo de demonstração no quadro da Ação C4 e também qualquer eventual decisão futura pós-projecto em matéria de barreira.

AS BARREIRAS PARA PEIXES 2

2.1. As espécies invasivas e a utilização de barreiras

As comunidades piscícolas e os ecossistemas continentais estão cada vez mais sujeitos às alterações provocadas pelas populações de peixes introduzidos (e.g. Vila-Gispert *et al*., 2005, Almeida *et al.*, 2014). A seguir à perda de habitat, as invasões biológicas são o maior factor de perda de diversidade à escala global (Vitousek *et al*., 1997; Almeida *et al.*, 2014). As invasões de peixes não-nativos constituem uma das principais causas de declínio das populações piscícolas nativas à escala mundial e a homogeneização biológica é, em geral, uma realidade com elevado custo ecológico e económico (Rahel, 2000).

A intervenção humana criou vias artificiais que proporcionaram a muitos peixes não-nativos formas de ultrapassar as barreiras biogeográficas que ao longo da história contiveram os processos de dispersão (Rahel, 2007). A libertação de isco vivo, povoamentos legais ou ilegais ligados à actividade da pesca recreativa, fuga acidental ou negligente de instalações de aquacultura, introdução no meio natural de espécies ornamentais, o transvase de água entre bacias, a água do balasto dos navio estão entre as mais citadas vias de introdução (Leunda, 2010).

Há três estádios principais no processo de invasão: a introdução intencional ou não de um aespécie numa região fora da sua área de distribuição natural, o estabelecimento de populações que se reproduzem e se tornam auto-sustentáveis, o crescimento populacional e dispersão da espécie (García-Berthou *et al*., 2005).

Os cursos de regime mediterrânico têm caudal com um padrão sazonal bem marcado, com reduzida disponibilidade de água durante o período seco, e com elevada variabilidade interanual, o que mais intensifica as pressões ambientais estivais (Bernardo et al., 2003, Vila-Gispert *et al*., 2005). Os aproveitamentos hidráulicos alteram os padrões naturais de escoamento na generalidade das redes hídricas e a degradação da qualidade da água criam acrescidas pressões ambientais sobre as

comunidades bióticas e os peixes em particular. Este conjunto de factores além de afectar as espécies piscícolas nativas propicia a invasão por espécies exóticas (Vila-Gispert *et al*., 2005). Esta ameaça é particularmente importante na Península Ibérica (Doadrio, 2001), em que a fauna piscícola é sobretudo ameaçada pela degradação do habitat e pelas espécies piscícolas introduzidas (Vinyoles *et al*., 2007).

Há um conjunto de aspectos chave geralmente considerados no quadro das introduções de espécies piscícolas: predação (Bampfylde & Lewis, 2007; Yonekura *et al*., 2007), degradação de habitat (Tejerina-Garro *et al*., 2005), competição por recursos (Caiola & Sostoa, 2005; Blanchet *et al*., 2007), hibridação (Costedoat *et al*., 2005; Hänfling *et al*., 2005), transmissão de doenças (Gozlan *et al*., 2006, Gozlan *et al*., 2010). A análise dos efeitos de cada um destes aspectos, isoladamente, é insuficiente para caracterizar adequadamente o impacto ecológico de uma espécie piscícola introduzida (European Commission 2008, Gozlan *et al*., 2010).

Os peixes introduzidos podem interagir com os nativos e forçar o declínio destes através de diversos mecanismos: predação sobre as populações indígenas, competição por recursos alimentares ou relativos ao habitat, hibridação com espécies indígenas, perturbação comportamental através de agressão directa ou perturbação das actividades reprodutivas (Leunda, 2010).

A recente introdução e dispersão de alburno é um bom exemplo da velocidade e eficácia de dispersão das exóticas nas águas interiores ibéricas (Vinyoles *et al*., 2007). Desde o primeiro registo de ocorrência num tributário do Ebro em 1992, o alburno dispersou-se rapidamente por quase toda a Peninsula Ibérica (Vinyoles *et al*., 2007), manifestando o seu potencial invasivo. A plasticidade ecológica da espécie, tanto no plano trófico como no de habitat, é uma característica típica das espécies invasivas (Almeida *et al*., 2009, 2014) e explica o elevado crescimento populacional, a rápida dispersão e os impactos negativos sobre as outras espécies piscícolas (Vinyoles *et al*., 2007).

A erradicação de uma espécie com estas características é particularmente problemática, para não dizer impossível de atingir, e procura-se geralmente adoptar estratégias de controlo e contenção, procurando manter os impactos dentro de determinados limites e a manutenção dos serviços dos ecossistemas. As barreiras para impedir a dispersão

para a parte superior das redes hídricas são uma das soluções (Gozlan *et al*., 2010). As barreiras têm sido desde há muito utilizadas para deter os movimentos de animais e afastar as espécies desejáveis de situações de risco devidas à acção humana (Noatch & Suski, 2012).

O bloqueamento da circulação dos peixes nas redes hídricas não é um objectivo que se pretenda atingir na generalidade das situações. Os objectivos, no quadro da gestão e conservação, é, contrariamente, manter ou restabelecer sempre que possível a conectividade longitudinal impedindo a fragmentação populacional. Há situações, no entanto, que aconselham o bloqueamento de uma das vias de progressão e o desvio para uma outra via. É o caso em que se pretende evitar a passagem por turbinas ou outros dispositivos causadores de elevadas mortalidades. Noutros casos pretende-se evitar o alastramento da dispersão de espécies invasivas, de elevado impacto sobre as comunidades nativas. Nesses casos as barreiras surgem como uma solução possível, embora a redução ou, no limite, o bloqueamento da movimentação das espécies nativas na rede hídrica seja um efeito negativo que não deve ser ignorado. Trata-se nessa situação de avaliar e decidir se as vantagens são superiores aos inconvenientes.

As barreiras podem ser físicas (estrutura de material inerte, como betão, pedra arrumada, gabiões, ou constituídas por grelhas), químicas, de correntes eléctricas, luminosas, de bolhas de ar, sonoras, de ondas (geradas por dispositivos com câmara de explosão).

2.2. Breve revisão da literatura

2.2.1. Barreiras Eléctricas

O facto das correntes eléctricas afectarem o comportamento dos peixes levou ao desenvolvimento de aparelhos de pesca. A captura de peixes com correntes eléctricas é possível porque parte da energia eléctrica aplicada na água é transferida para o peixe levando a uma atracção com natação forçada (*taxis*), imobilização, e, se desajustada, ao traumatismo e morte dos peixes. Identicamente, a resposta de evitamento dos peixes

às correntes eléctricas levou ao desenvolvimento de barreiras com efeito de bloqueamento ou encaminhamento.

Os efeitos da electricidade sobre os peixes dependem da espécie, dimensão, condutividade, tipo de eléctrodos, tipo de corrente eléctrica e direcção da corrente (Bird & Cowx 1993, Noatch & Suski, 2012). A energia eléctrica dissipa-se na água e os peixes que se encontram a maiores distâncias dos eléctrodos sentem a corrente mas não sofrem atracção nem trauma podendo evitá-la. O facto de sentirem a corrente tende a levá-los a evitar a aproximação. A corrente contínua tem efeitos menos lesivos do que a alternada.

Este tipo de barreiras é mais eficaz para organismos que nadem activamente na coluna de água contra a corrente. Caso não evitem a aproximação à barreira e, pelo efeito desta, fiquem atordoados, tenderão a ser arrastado para jusante pelo movimento da água, recuperando depois a uma distância em que os efeitos do campo eléctrico já não se façam sentir.

As barreiras eléctricas utilizadas para bloquear ou dirigir os movimentos dos peixes têm algumas limitações: desactivação por falha eléctrica, manutenção, peixes de pequenas dimensões podem não ser afectados pela corrente (Noatch & Suski, 2012).

As barreiras eléctricas têm mostrado eficácia para um elevado número de espécies (e.g. Swink 1999; Holliman 2010). No entanto, as limitações antes referidas e a complexidade dos sistemas fazem com que não sejam totalmente eficazes (Stokstad 2003; Clarkson 2004).

2.2.2. A sensibilidade acústica dos peixes e as barreiras acústicas

A audição e detecção de vibrações são sentidos particularmente bem desenvolvidos nos peixes. A audição neste grupo de animais é usada para comunicação intraespecífica (Myrberg & Spires, 1980; Zelick *et al*., 1999), mas também como meio de detectar alterações no ambiente e situações de perigo.

O som e as ondas de pressão são particularmente importantes nos meios aquáticos em que a orientação visual seja limitada (Noatch & Suski, 2012); os sinais químicos dependem da movimentação da água enquanto que o som ao se propagar em todas as direcções a uma elevada velocidade alcança quase instantaneamente distâncias consideráveis fornecendo informações direcionais e de obstáculos (Fay & Popper, 2000; Fay, 2008) não sendo afectado pela turvação da água nem período do dia (Popper & Carlson, 1998).

Os orgãos envolvidos são a linha lateral que detecta as frequências mais baixas mas sobretudo o ouvido interno, que é sensível a frequências que podem atingir valores elevados. A anatomia e fisiologia dos sistemas auditivos dos grupos de peixe podem ser muito diferentes (Nedwell et al., 2004) sugerindo que várias espécies podem detectar e processar o som de forma diferente (Popper & Fay, 1993).

As medições da capacidade auditiva de várias espécies mostraram que a maioria dos peixes ouve numa gama de frequências relativamente estreita, entre frequências um pouco inferiores a 50 Hz até 1000-3000 Hz. No entanto, alguns grupos podem ouvir frequências até 5000 Hz e mesmo ultra-sons (> 20 kHz), como alguns clupeídeos (Luczkovich *et al.*, 2011).

Esta variabilidade na audição é devida essencialmente à presença de estruturas auditivas acessórias. Apesar de objecções recentes (Popper & Fay, 2011), os peixes têm sido genericamente divididos em generalistas e especialistas (Hawkins & Myrberg, 1983; Hawkins, 1993; Ladich & Popper, 2004). Os especialistas possuem uma estrutura anatómica que liga o ouvido interno a uma bolha gasosa (como a bexiga-natatória) que contribui para transmitir ondas sonoras ao ouvido interno (Noatch & Suski, 2012). A bexiga-natatória actua como transdutor que converte as ondas de pressão sonora em vibrações possibilitando assim ao peixe detectar os sons como vibrações. Os generalistas ouvem sons de frequência inferior a 1kHz enquanto que os especialistas são capazes de detectar frequências mais elevadas (Hawkins, 1993; Crawford, 1997; Ladich, 1999; Scholz & Ladich, 2006; Schilt, 2007; Noatch & Suski, 2012).

A percepção e distinção dos sons por parte dos peixes, quer sejam de origem abiótica ou biótica, é extremamente importante para a respectiva sobrevivência. Diversos

autores têm vindo a quantificar a sensibilidade ao som de vários grupos de peixes, essencialmente marinhos e produziram informação sobre intervalos de frequências audíveis e o limite inferior da intensidade a que o animal consegue detectar uma determinada frequência (limiar de sensibilidade ou *threshold*). Actualmente são conhecidos valores de *threshold* para cerca de 100 espécies.

No grupo dos ciprinídeos, *Carassius auratus* tem sido amplamente utilizado em experimentação e há informação abundante (*e.g*. Enger, 1966; Weiss, 1966; Amoser & Ladich, 2003; Cordova & Braun, 2007). Os audiogramas para a espécie indicam limiares de cerca de 50-60 dB re:1uPa para frequências de 50-1000Hz, 70 dB re:1uPa para 4 kHz e 90 dB re:1uPa para 5kHz (http://www.popperlab.umd.edu/background/thresholds.htm). Relativamente a *Cyprinus carpio*, os limiares obtidos são 80, 60-90 e 100-110 dB re:1uPa para frequências de 100, 1000 e 4000 Hz, respectivamente (Amoser & Ladich, 2005; Kojima et al. 2005). Em *Rutilus rutilus*, os limiares acústicos são 85, 60 e 110 dB re:1uPa para frequências de 100, 1000 e 4000 Hz, respectivamente (Amoser *et al*., 2004). Não se dispõe de audiograma para alburno.

Os peixes podem reagir inicialmente ao som e comportarem-se depois passivamente como resultado da habituação (Nelson & Johnson 1972). Por outro lado, sons persistentes durante períodos prolongados podem elevar os limiares acústicos como foi demonstrado em *Pimephales promelas* submetido a 24h de ruído branco (0,3–4,0 kHz, 142 dB re: 1 µPa) e o efeito pode ser de longo prazo, superior a 14 dias (Scholik & Hong 2001). A habituação e a perda de sensibilidade auditiva podem condicionar a eficácia de barreiras sonoras.

Maes *et al*. (2004) mostraram que sistemas de barreiras acústicas que geram frequências sonoras baixas, entre 20 e 600Hz, têm alguma eficácia a diminuir a passagem de muitas espécies de peixes por estruturas de entrada de água. Por outro lado, os infrasons (frequências inferiores a 20 Hz) parecem ser bons candidatos para o desenvolvimento de sistemas de repulsão multi-específicos (Sonny *et al*., 2006). Testes indicaram que os infrasons são particularmente eficazes no barramento de diversas espécies de peixe, como salmonídeos juvenis e enguia (Sonny *et al*., 2006).

2.2.3. Cortinas de Bolhas

As barreiras ou cortinas de bolhas têm sido também objecto de interesse como sistemas de condicionamento ou encaminhamento de peixes.

Uma cortina contínua de bolhas de ar na coluna de água constitui um elemento não natural que os peixes tendem a evitar (Noatch & Suski, 2012). Uma limitação possível consiste no facto de poderem não ser facilmente detectadas a alguma distância e a turvação da água pode condicionar a respectiva eficácia (Noatch & Suski, 2012). Não existe consenso quanto ao tipo de estímulos responsável pela resposta comportamental dos peixes (*e.g*. Kuznetsov, 1971; Patrick *et al*., 1985; Welton *et al*., 1997).

Como barreiras de deflecção para carpa comum e asiática, as cortinas de bolhas têm mostrado uma considerável eficácia (73-80%) (Zielinski & Sorensen, 2016).

No geral, as cortinas de bolhas, se utilizadas isoladamente, têm uma eficácia limitada como barreira para peixes. No entanto, apresentam potencial se integradas num sistema com outras componentes.

A opção em incluir ou não uma cortina de bolhas num sistema integrado deve ter em conta as características do local, designadamente quanto a turvação, profundidade, e tipo de fundo (Noatch & Suski, 2012). Um dos principais problemas no projecto de uma cortina de bolhas é a manutenção da pressão de ar numa situação de alteração da profundidade (Noatch & Suski, 2012).

2.2.4. Sistemas mistos de bolhas e som

Um sistema com dois tipos de barreira pode ser mais eficaz do que cada barreira actuando isoladamente e, se a turvação da água é elevada, bolhas e som podem ser uma combinação adequada (McIninch & Hocutt, 1987).

A *Bio-Acoustic Fish Fence* (BAFF) é um sistema que usa a produção de som juntamente com uma cortina de bolhas de ar para criar um "muro de som" (Welton *et al*., 2002).

Estas barreiras apresentam resultados positivos, sendo mais eficientes durante a noite (Welton *et al*., 2002).

Há sistemas que integram ainda, para além de som e bolhas, luz, concretamente luz estroboscópica. O efeito da inclusão de luz pode ser, no entanto, questionável (Ruebush, 2011).

Hocutt (1980) referiu que os sistemas de orientação pelo comportamento (*behavioral guidance systems*) possuem apenas um "sucesso marginal" mas atribuíu este facto em parte à falta de abordagens inovadoras na utilização de estímulos ambientais para provocar respostas comportamentais básicas. Quase 30 anos depois, a eficácia das barreiras comportamentais, mesmo nos melhores casos de sucesso, é apenas parcial, i.e. não bloqueiam completamente a movimentação dos peixes.

O bloqueamento da progressão é, como é compreensível, muito mais problemático do que o desvio do fluxo dos peixes, evitando a entrada em passagens de elevada mortalidade e direccionando-a para vias alternativas (*e.g*. Welton *et al*., 2002; Perry *et al*., 2014; Zielinski *et al*., 2014). Mas mesmo um sistema de desvio, constituído por luz, som e bolhas, pode ter uma eficácia inferior a 50% (*e.g.* Perry *et al*., 2014).

TRABALHO EXPERIMENTAL REALIZADO 3

3.1. Barreiras físicas

3.1.1. Capacidade de Salto

3.1.1.1. Objectivo

O estudo relativo às barreiras físicas implica a avaliação da capacidade por parte do alburno de transpor obstáculos por salto. No projecto de uma barreira estrutural do tipo açude é relevante o conhecimento da capacidade de salto dos peixes que se pretende barrar.

3.1.1.2. Material e métodos

Na avaliação da capacidade de salto dos alburnos, inicialmente procedeu-se à observação de eventuais saltos em cursos de água com pequenas quedas de água; observaram-se saltos de outras espécies, procurando transpor os obstáculos, mas não de alburno.

Em condições experimentais, no canal experimental do Campus de Valverde da Universidade de Évora, foi montada barreira perpendicular ao canal e de altura regulável. Com uma estrutura móvel ajustada à secção do canal e movimentada ao longo do canal em direcção à barreira procurou-se provocar a transposição do obstáculo. Registou-se uma única transposição do obstáculo e com deslizamento pela superfície do obstáculo. Os alburnos deslocavam-se no canal, concentrando-se nos cantos que possibilitavam um maior abrigo o que levou a que este dispositivo experimental acabasse por ser rejeitado.

Procedeu-se, posteriormente a ensaios recorrendo-se a um reservatório, com 1,7 m^2 de área e 0,35m de profundidade, onde se encontravam 25 a 35 alburnos de dimensões entre 6,5 e 15cm e com um período de cativeiro mínimo de 2 semanas. Foi criada uma queda de água com um débito de 0,5L/s e lâmina de água com 0,25m de largura. Foram

observados alguns saltos, mas o caracter errático destes levou a que este dispositivo fosse rejeitado.

Numa 2ª fase, utilizou-se um reservatório com área de 0,125m^2 e declive de parede de 17%. A água proveniente de um recipiente mais elevado é lançada nesse reservatório onde se encontram os peixes, procurando-se que essa queda suscite o salto. A profundidade da água no reservatório onde se encontram os peixes é um parâmetro relevante na maior ou menor altura do salto e, por outro lado, uma pequena profundidade cria uma situação de stress nos peixes que os impele a executar saltos na tentativa de alcançarem um local a montante. No reservatório foram utilizados de cada vez 3 peixes de dimensões suficientemente contrastantes para permitir uma fácil individualização em situação de salto. As paredes laterais do reservatório, translúcidas e com escala, permitiam observar os saltos e a altura destes e o nível da água no reservatório no momento do salto. Para induzir os saltos, a profundidade da água no reservatório com os peixes era reduzida até um mínimo de 4-5cm, seguida de subida progressiva da altura com a descarga do reservatório superior.

Foram registados para cada salto o comprimento do peixe, a altura do salto e a profundidade da água no reservatório aquando do salto, considerando-se irrelevante o facto do salto permitir ou não a passagem do reservatório para o recipiente superior.

3.1.1.3. Resultados

Os ensaios foram efectuados com peixes de comprimento total entre 6.5 e 15.3cm. Na Figura 1 apresentam-se as alturas dos diversos saltos observados e, para cada salto, a profundidade da água no reservatório. O maior salto registado foi de 30cm, efectuado por alburnos com 15 e 15,3cm de comprimento. A profundidade do reservatório aquando destes saltos era de 20 e 22cm.

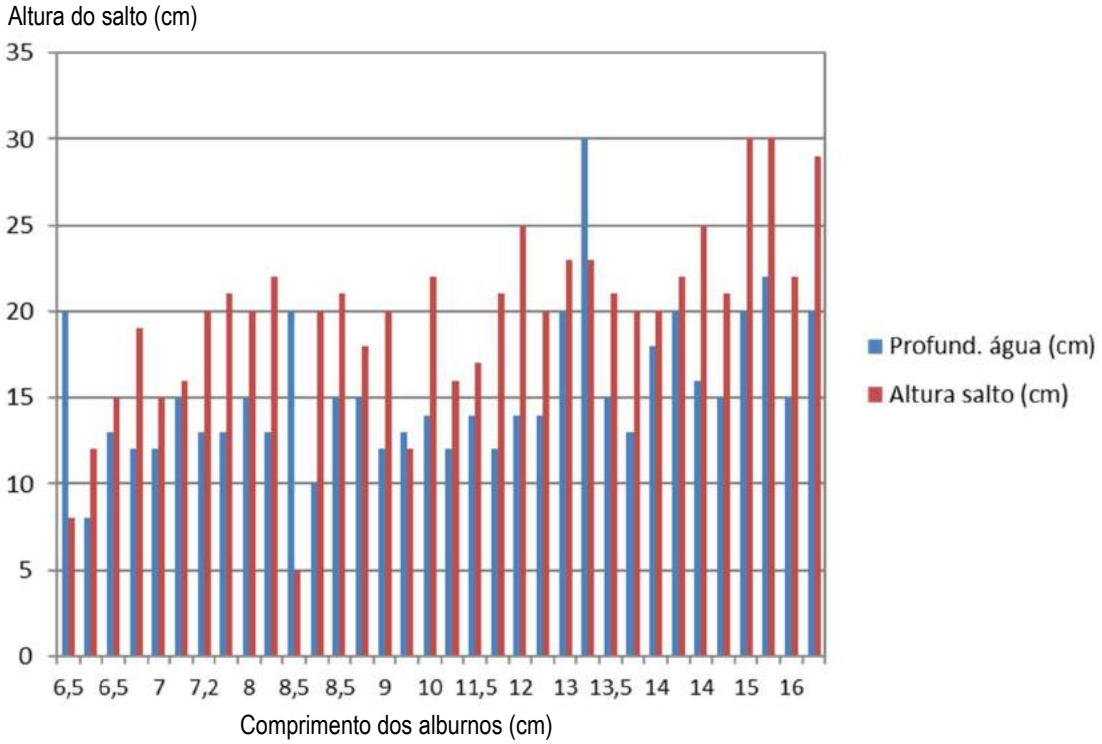


Figura 1. Altura dos saltos efectuados (cm) e profundidade da água no reservatório (cm) no momento do salto.

Em diversas situações observou-se não um salto convencional, mas sim um salto em deslizamento (Figura 2), sendo o movimento realizado mantendo o peixe o contacto da parte ventral com a superfície lateral do reservatório.

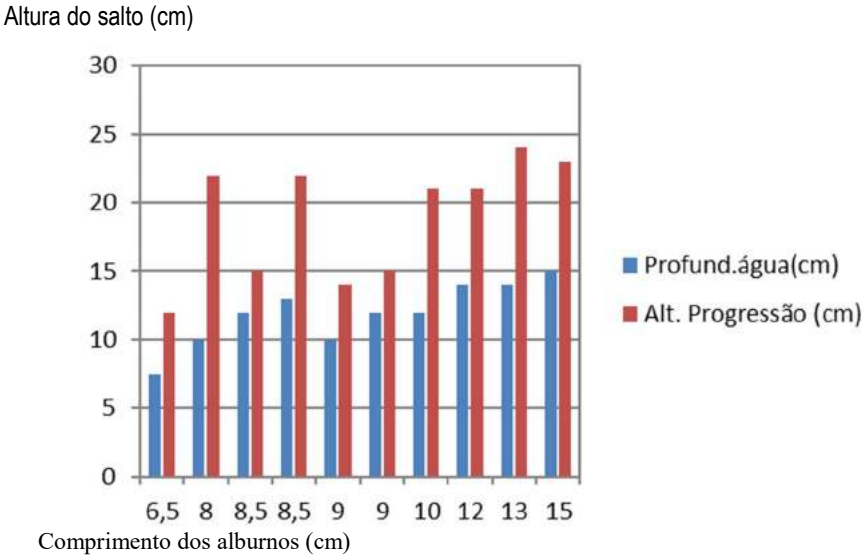


Figura 2. Altura dos saltos com deslizamento (cm) observados e profundidade da água no reservatório (cm).

No projecto de um obstáculo estrutural poderá justificar-se considerar um declive que impossibilite ou fortemente limite a progressão por deslizamento (i.e., declive de ângulo superior a 90 º) ou sem continuidade da superfície. Por outro lado, uma lâmina de água de pequena profundidade dificulta significativamente a preparação do salto e impede que os alburnos executem saltos de maior altura.

3.1.2 Capacidade de progressão natatória contra a corrente

3.1.2.1 Objectivo

Uma barreira estrutural não tem obrigatoriamente que ser um paredão contínuo entre as duas margens, criando um corpo de água lêntico a montante. Uma interrupção num paredão, criando uma fenda para descarga de água, ou o estreitamento do leito por qualquer outro meio criando uma aceleração da corrente de água quando o curso tem caudal podem constituir opções a considerar. Nessas situações, a caracterização da capacidade natatória dos peixes contra a corrente é particularmente relevante.

3.1.2.2. Métodos

Os testes foram executados em câmara tubular (tubo de policarbonato transparente com 63mm de diâmetro interno e 2,25m de comprimento) com fluxo regulável, e inclinação de cerca de 10%; a entrada de água estava ligada à extremidade superior e a parte inferior da câmara estava ligada a um tubo em joelho, ficando a extremidade livre deste à mesma altura que a extremidade oposta da câmara; em cada ensaio era introduzido um peixe procedendo-se à elevação gradual do fluxo, registando-se a velocidade máxima da corrente a que os peixes conseguiam manter a posição na câmara. Os alburnos utilizados nos testes tinham comprimento total compreendido entre 10 e 15,5 cm.

3.1.2.3. Resultados

O comportamento dos alburnos no ensaio revelou algum grau de inadequação do dispositivo experimental a esta espécie. Diversos peixes não apresentaram resposta

natatória contra a corrente, sendo imediatamente arrastados ou não chegando a sair da zona inferior da câmara por onde foram introduzidos. As respostas natatórias observadas para um período mínimo de 3 segundos foram de 0,20m/s (3 exemplares), 0,25m/s (4 exemplares), 0,35m/s (1 exemplar) e 0,5m/s (1 exemplar).

Considera-se que estes resultados não revelam de forma conclusiva a capacidade natatória da espécie contra a corrente. Foram observadas na natureza velocidades natatórias superiores a 1 m/s em curtas distâncias. A espécie parece ser muito susceptível ao stress e a natureza do dispositivo utilizado nestes ensaios e a manipulação envolvida (captura e introdução na câmara) parecem ter efectivamente criado uma situação não favorável à avaliação da capacidade de resposta natatória.

3.2. Barreira Eléctrica

3.2.1. Objectivo

Com estes ensaios pretendeu-se definir as características das correntes eléctricas com maior eficácia no bloqueamento da progressão dos alburnos, em condições de riscos reduzidos em termos de segurança para os seres humanos.

3.2.2. Métodos

Em canal experimental (Campus da Mitra da UÉvora) foi avaliada a resposta comportamental de alburnos a diversas configurações de corrente eléctrica: corrente contínua com voltagens de 350V, 500V e 650V, com pulsos e pico de corrente por pulso de 10kwatts e diversas gamas de frequências (20 a 40 pulsos/s, 50 a 60 pulsos/s, 70 a 80 pulsos/s), tendo a forma dos pulsos uma subida rápida e descida exponencial lenta.

As condições experimentais no canal foram 0,25m/s de velocidade corrente, condutividade eléctrica de 290microS/cm, temperatura de 20ºC.

Os eléctrodos foram instalados no canal e os peixes foram introduzidos a jusante. A corrente foi ligada durante curtos períodos (1 a 3s) e observada a reacção dos peixes. Foram registadas as distâncias a que se observavam comportamentos de recuo (deslocando-se rapidamente para zonas mais afastadas do ânodo), de afectação

(reagindo à corrente, mas sem recuo significativo) e de indiferença (sem reacção aparente à corrente eléctrica).

3.2.3. Resultados

Os resultados evidenciaram a eficácia das correntes eléctricas testadas provocando um comportamento de evitamento por parte dos alburnos.

Com corrente contínua a 350V, a resposta observada é menos consistente do que a 500V. Para 500V a resposta comportamental de evitamento é expressiva, tendo-se observado distâncias máximas nas respostas de recuo entre 8m (para frequências de 20 a 40pulsos/s) e 9m (para frequências entre 70 e 90 pulsos/s) (Figura 3). A situação de vazio foi mantida com descargas de 0,5s de duração com uma frequência de 20 descargas/minuto.

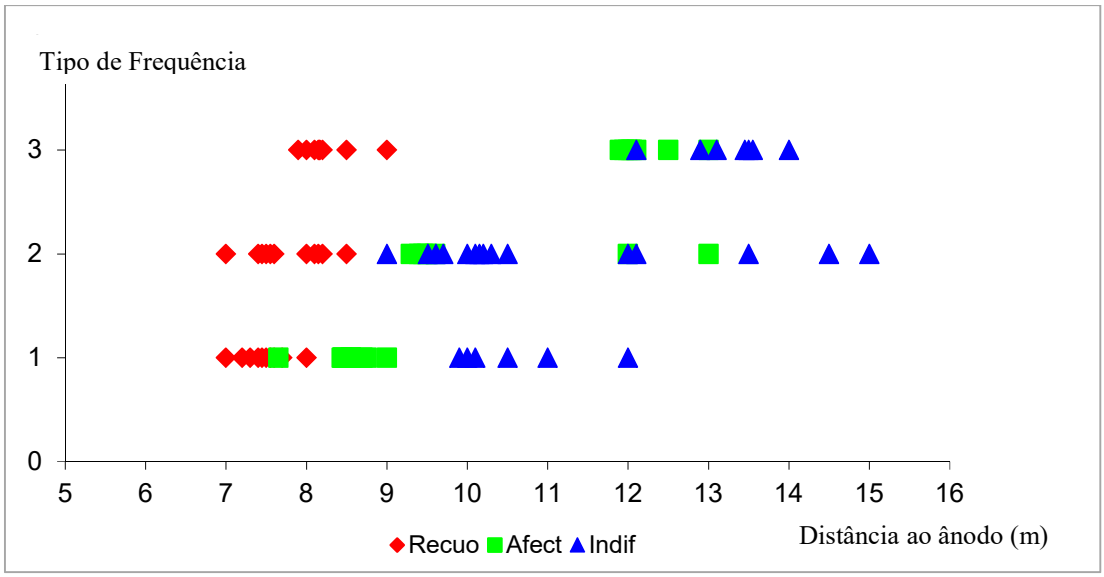


Figura 3. Resposta comportamental dos alburnos a corrente eléctrica contínua de 500V de diversas frequências: Frequência 1 - 20 a 40 pulsos/s, Frequência 2 - 50 a 60 pulsos/s, Frequência 3 - 70 a 80 pulsos/s.

A 650V não se verifica uma alteração substancial da resposta pelo que se entende não se justificar a utilização de voltagens superiores a 500V. Nestas condições de corrente eléctrica, que representam um risco baixo a moderado para os seres humanos, foi criado um vazio com 8-9m de comprimento (i.e. uma zona de evitamento) com eficácia 100%,

ou seja, o vazio manteve-se, não se registando qualquer movimento de aproximação aos eléctrodos para lá dessa distância limite e portanto qualquer caso de transposição da barreira eléctrica para montante.

Perante os resultados com corrente contínua, entendeu-se não se justificar testar corrente eléctrica alternada dado o impacto mais elevado desta sobre os animais aquáticos.

3.3. Barreiras de Bolhas e de Som

3.3.1. Objectivos

Com estes ensaios testaram-se diversos tipos de mangueiras perfuradas integrando um sistema de barreira de bolhas de ar, avaliando-se o grau de eficácia da cortina de bolhas produzida no bloqueamento dos movimentos de alburno. Relativamente à barreira de som, pretendeu-se desenvolver e testar a eficácia de diversos objectos sonoros, desde os sons mais simples às sequências sonoras mais complexas. Determinadas as características dos 2 tipos de barreira com maior eficácia, testar como sistema misto, de bolhas e som.

3.3.2. Material e Métodos

3.3.2.1. Canais

Foram utilizados canais do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa, concretamente um canal pequeno do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas e um canal de muito maiores dimensões do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas. Os testes foram realizados em março e abril 2017, após preparação e limpeza dos canais.

Canal pequeno

Características: O canal utilizável tem uma parte de montante com 3,6m de comprimento, 1,2m de largura e profundidade máxima de 0,58m. A parte seguinte é a

principal, mais larga e profunda, tendo 6,3m de comprimento, 2m de largura e 1,15m de profundidade máxima e que liga, após uma comporta de canal de guilhotina, à parte final, com a qual faz um ângulo de 90^0. Este segmento, com 6m de comprimento, 0,5m de largura e profundidade máxima de 0,86m, descarrega a água para o depósito geral subterrâneo.

Preparação: o canal que foi disponibilizado para a realização dos ensaios estava inactivo há muito, acumulara lixo, terra e pó, e necessitava de intervenções diversas (Figuras 4 e 5). Assim, foi necessário executar diversas operações de reparação com isolamento de fissuras e juntas, substituição de placa de fundo, criação de rampas no murete da comporta de modo a evitar que o murete constituísse um obstáculo à circulação dos peixes, montagem de placa fixa no final do canal para elevação do nível da água, e fixação de quadro com rede na parte superior para evitar saída dos peixes para o circuito de retorno da água ao depósito geral do pavilhão; limpeza, pintura, remoção de detritos acumulados e partículas de baquelite do depósito do canal, pintura geral do exterior e interior (figuras 6 a 11).

Operação: bombagem a partir do grande depósito geral subterrâneo que alimenta o pavilhão, enchimento do depósito do canal e descarga deste por gravidade para o canal, enchendo-o; se o nível da água ultrapassar a placa da saída do canal de descarga, a água é descarregada para o depósito geral, subterrâneo, do pavilhão.

Figuras 4 e 5. Aspectos do canal pequeno antes da intervenção efectuada, vendo-se perdas de água por fissuras e mau isolamento de placas.

Figuras 6 e 7. Reparações no corpo principal e na parte anterior.

Figuras 8 e 9. Limpeza do depósito e rampas montadas no murete da comporta de guilhotina.

Figuras 10 e 11. Canal pequeno após intervenção. Imagem esquerda: aspecto geral do canal em fase de pintura, observando-se o corpo principal do canal, a comporta de guilhotina levantada e o canal estreito de descarga para jusante desta. Imagem direita: canal cheio, vendo-se ao fundo o depósito.

Canal grande

Características (Figuras 12 e 13): O canal tem 3,5m de largura e foi utilizado numa extensão de 21 m, o que representa apenas parte do comprimento total; o murete (figura 12) com 0,5 m de altura constitui o limite do canal utilizado, a 1,5-2m do qual foi colocada a fonte sonora; a 16m desta extremidade há um degrau com 0,2m de altura e até ao degrau seguinte a profundidade vai aumentando gradualmente até ao nível anterior ao degrau. A profundidade máxima do plano de água utilizado foi 0,5m.

Figuras 12 e 13. Canal grande em fase de limpeza, em vistas de ângulos opostos. Na imagem da esquerda pode-se observar em primeiro plano o murete que constitui a barreira final do canal utilizado nos testes.

Foram realizadas observações preliminares para detectar se o degrau referido condicionava a movimentação dos peixes e concluiu-se que não.

Intervenção: Procedeu-se a limpeza, elevação do murete com material amovível para evitar eventuais saltos e saídas dos peixes, e obstrução da tubagem de descarga para facilitar a manutenção da cota de água, reduzindo ao máximo as perdas de água, e evitar a entrada de peixes.

Operação: Antes e durante os testes, bombagem para o canal a partir do reservatório existente sob este, para elevação e manutenção da cota de água.

3.3.2.2. Equipamento

Sistema de Bolhas

No sistema de bolhas foi utilizado um compressor ItalBlower X1.09 de 0,55 kW de potência e caudal máximo de 94m^3/h, caudal 20 m^3/h a 150 mbar, ligado na admissão a tubo de PVC rígido com filtro de ar e, na saída, a dispositivo de válvula com by-pass que permite a regulação do débito de ar (Figuras 14 e 15) . A saída foi ligada a tubo flexível para ar comprimido de 20 atmosferas que termina em peça de ligação em joelho no qual foram montadas as mangueiras perfuradas. Estas foram fixas a barra de ferro com abraçadeiras de nylon (figura 16) de modo a manterem-se assim direitas e estáveis, sobre o fundo do canal, durante o funcionamento da cortina de bolhas.

Figuras 14 e 15 . Compressor montado em placa colocada sobre o depósito do canal pequeno. São visíveis o disjuntor e a válvula de esfera montada na saída by-pass (fotografia esquerda) e o tubo de admissão com filtro de ar (fotografia direita).

Foram ensaiados vários tubos perfurados e estimados os débitos a 0,7m de profundidade recolhendo o ar em manga plástica e medindo o volume de ar ao fim de um período de tempo contabilizado. Os valores de débito foram expressos como volume de ar (L) por m de comprimento de mangueira perfurada por minuto.

Foram utilizados os seguintes tipos de mangueira nos sistemas de bolhas testados:

- Mangueira Difusora de Ar BSCL, comercializada por Fernando Ribeiro Lda, em EPDM com 19mm de diâmetro interno e 3000 poros/metro, estando os poros distribuídos por toda a superfície. O débito de ar medido a profundidade de 0,7m e com o compressor a potência máxima foi 2,73L/m min.
- Mangueira MRH Multipurpose Rubber Hose, comercializada por Fernando Ribeiro Lda, com 16mm de diâmetro interno, com poros em toda a superfície e não sendo o número destes especificado pelo fabricante. O débito de ar medido à potência máxima do compressor e a 0,7m de profundidade foi 73,8L/m min.
- Mangueira com orifícios em linha, produzida para o projecto, tendo-se utilizado tubo transparente de PVC maleável, HI-FITT, de 17mm de diâmetro interno, tendo os orifícios 3mm de diâmetro e com 6 mm de espaçamento entre orifícios. O débito de ar medido a profundidade de 0,70m com o compressor em potência máxima foi 170,5L/m min.

Não só os débitos são muito diferentes como o tipo de cortina é também diverso (figuras 17 a 21). A mangueira BSCL revelou-se inadequada para este propósito e não compatível com a potência do compressor utilizado; a produção de bolhas de ar por esta mangueira é claramente insuficiente. A mangueira MRH tem uma produção de bolhas que

possibilita a criação de uma verdadeira cortina (figura 20). Também a mangueira com orifícios em linha cria uma cortina de bolhas mas com maior turbulência (figura 21).

As câmaras GOPRO destinavam-se a executar registos de imagens com intervalo de alguns segundos de modo a monitorizar longos períodos em que não se procedesse a observação directa. As câmaras seriam fixadas próximo das extremidades do tubo de bolhas de modo a, em baixa velocidade de registo de imagens, monitorizar em contínuo ao longo de períodos de tempo de vários dias, detectando as situações de passagem de peixes através da barreira e possibilitando quantificá-las em termos de frequência. Com a ineficácia de bloqueamento das cortinas de bolhas e a possibilidade de observação directa dos peixes durante os testes, o registo de imagens pelas câmaras não acrescentava informação útil. Foram apenas utilizadas as imagens subaquáticas, incluindo sequências de vídeo, da produção de bolhas pelas diversas mangueiras perfuradas.

Figura 16. Mangueira perfurada montada em barra de ferro.

Figura 17. Cortina de bolhas produzida com mangueira MRH.

Figura 18. Cortina de bolhas produzida com mangueira de orifícios em linha.

Figura 19. Bolhas de ar produzidas pela mangueira BSCL

Figura 20. Bolhas de ar produzidas pela mangueira MRH

Figura 21. Bolhas de ar produzidas pela mangueira de orifícios em linha.

Barreira de Som

Procedeu-se previamente ao estudo das características do equipamento, tendo em vista o desenho geral do sistema, e efectuou-se o levantamento do equipamento existente no mercado. Procedeu-se ainda à análise da informação disponível sobre as características de uma barreira sonora com eficácia para repelir ou minorar a

Foi utilizado o seguinte equipamento:

- Amplificador misturador Inter-M A120 de 120W@4Ohm com frequência de resposta (±3dB) 80Hz - 16kHz T.H.D., S/R inferior 1%.
- Gerador de sinal NTi Audio, Minirator MR-PRO com intervalo de frequência 10Hz – 20kHz, com precisão de 0,01% e resolução 16 Bit.
- Coluna sub-aquática Lubell modelo LL916C com cabo de 15m ligada a transformador de isolamento AC205C. O transdutor de pistão piezoeléctrico, segundo as especificações

do fabricante, produz uma gama de frequências de 200Hz - 23kHz e um nível máximo de saída de 180dB/uPa/m @ 1kHz.

- Computador ASUS K556UR-77B93 que foi testado tendo revelado ter comportamento linear.
- Câmaras GOPRO destinavam-se a executar registos de imagens com intervalo de alguns segundos de modo a monitorizar longos períodos não envolvendo observação directa.

As câmaras seriam fixadas no canal de modo a monitorizar e detectar a aproximação dos peixes à fonte sonora, possibilitando a avaliação da distância mantida entre fonte e peixes.

Com a ineficácia de bloqueamento das emissões acústicas e a viabilidade de se proceder a observações directas dos peixes durante os testes não se justificava a instalação das câmaras pelo que foi abandonada a respectiva utilização.

3.3.2.3. Produção e teste de objectos sonoros

Recorreu-se ao gerador de sinal Nti MiniRator Pro-MR e a software específico de produção de som.

Em todos os ensaios de resposta à barreira sonora foi utilizada a potência sonora máxima possível com a coluna de som, o que corresponde a 25V RMS à saída do amplificador. Para 1kHz, com a atenuação de 0,8 relativa ao transformador do altifalante, corresponde a 178 dB RMS de resposta da coluna.

Começou por se testar sons simples, de frequências entre 80 e 1250 Hz e forma de onda sinusoidal, quadrada e em dente de serra, sem variação ao longo do tempo. Posteriormente, foram testados sons com várias frequências, e sequências sonoras com variações no tempo. Para os sons complexos são apresentadas análises de frequência. Para as sequências sonoras são apresentados espectrogramas em que as cores representam para as várias frequências a quantidade de energia, branco correspondendo às frequências com maior energia, seguindo-se vermelho e finalmente azul às com menos energia.

Os diversos objectos sonoros foram testados durante períodos de tempo suficientes para os peixes, nadando em cardume ao longo do canal, se deslocarem pelo menos 3 vezes na direcção da fonte sonora. Não havendo sinais de comportamento de evitamento, dava-se por concluído o teste desse objecto. Entende-se por comportamento de evitamento a resposta comportamental de afastamento intencional, em grupo e rapidamente no sentido oposto à fonte ao ser emitido um determinado objecto sonoro. Caso se observassem comportamentos de evitamento com manutenção de distância relativamente à fonte acústica, o teste do objecto sonoro era executado durante 15 minutos, repetido 3horas e 6horas depois durante períodos de 15 minutos. Caso se mantivesse resposta de evitamento, novo teste seria efectuado 24horas e 48 horas depois. Continuando a observar-se o comportamento de evitamento, o teste estender-se-ia por 63horas sendo instaladas câmaras e feito registo de imagem para detectar eventuais alterações em matéria de evitamento.

Foi inicialmente utilizado o canal mais pequeno com a comporta levantada para possibilitar a circulação também pelo canal estreito de descarga, perfazendo assim um comprimento total de 12,3m ou 16m se considerarmos a parte anterior, menos profunda, a montante do segmento principal. A fonte acústica foi colocada sobre o fundo no canto esquerdo anterior a 0,4m das paredes. Esta localização foi escolhida porque constitui um dos locais do canal onde os peixes permaneciam mais tempo e porque permitia que o movimento do eventual comportamento de evitamento e fuga dispusesse de cerca de 12m (segmento principal + segmento de descarga).

Com a disponibilização do canal grande, foram repetidos os testes dos objectos sonoros que já tinham sido executadas no canal pequeno. A fonte acústica foi colocada sobre o fundo na extremidade do canal, junto ao murete, distando 2,5-3m deste.

Os objectos sonoros testados foram agrupados em vários tipos.

<u>Sons simples de frequência única</u>:

1. 80Hz forma de onda sinusoidal
2. 80Hz onda quadrada
3. 80Hz onda em dente de serra

4. 100Hz onda sinusoidal

5. 100Hz onda quadrada

6. 100Hz onda em dente de serra

7. 125Hz onda sinusoidal

8. 125Hz onda quadrada

9. 125Hz onda em dente de serra

10. 160Hz onda sinusoidal

11. 160Hz onda quadrada

12. 160Hz onda em dente de serra

13. 200Hz onda sinusoidal

14. 200Hz onda quadrada

15. 200Hz onda em dente de serra

16. 250Hz onda sinusoidal

17. 250Hz onda quadrada

18. 250Hz onda em dente de serra

19. 315Hz onda sinusoidal

20. 315Hz onda quadrada

21. 315Hz onda em dente de serra

22. 400Hz onda sinusoidal

22. 400Hz onda quadrada

23. 400Hz onda em dente de serra

24. 500Hz onda sinusoidal

25. 500Hz onda quadrada

26. 500Hz onda em dente de serra

27. 630Hz onda sinusoidal

28. 630Hz onda quadrada

27. 630Hz onda em dente de serra

29. 800Hz onda sinusoidal

30. 800Hz onda quadrada

31. 800Hz onda em dente de serra

32. 1000Hz onda sinusoidal

33. 1000Hz onda quadrada

34. 1000Hz onda em dente de serra

37. 1250Hz onda sinusoidal

38. 1250Hz onda quadrada

39. 1250Hz onda em dente de serra

Sons com várias frequências:

40. 80Hz + 125Hz ondas sinusoidais

41. 80Hz + 125Hz ondas quadradas

42. 80Hz + 125Hz ondas em dente de serra

43. 80Hz onda sinusoidal + 125Hz onda quadrada

44. 80Hz onda sinusoidal + 125Hz onda dente de serra

45. 80Hz onda quadrada + 125Hz onda dente de serra

46. 80Hz onda quadrada + 125Hz sinusoidal

47. 80Hz onda dente de serra + 125Hz onda quadrada

48. 80Hz onda dente de serra + 125Hz sinusoidal

49. 80Hz + 125Hz + 200Hz ondas sinusoidais

50. 80Hz + 125Hz + 200Hz ondas quadradas

51. 80Hz + 125Hz + 200Hz ondas em dente de serra

52. 80Hz onda quadrada + 125Hz + 200Hz ondas sinusoidais

53. 80Hz onda quadrada + 125Hz + 200Hz ondas em dente de serra

54. 80Hz onda em dente de serra + 125Hz + 200Hz ondas quadradas

55. 80Hz onda em dente de serra + 125Hz onda quadrada + 200Hz onda sinusoidal

56. 80Hz + 125Hz + 200Hz + 315Hz ondas sinusoidais

57. 80Hz + 125Hz + 200Hz + 315Hz ondas quadradas

58. 80Hz + 125Hz + 200Hz + 315Hz ondas em dente de serra

59. 80Hz onda em dente de serra + 125Hz + 200Hz + 315Hz ondas em dente de serra

60. 80Hz onda em dente de serra + 125Hz + 200Hz + 315Hz ondas quadradas

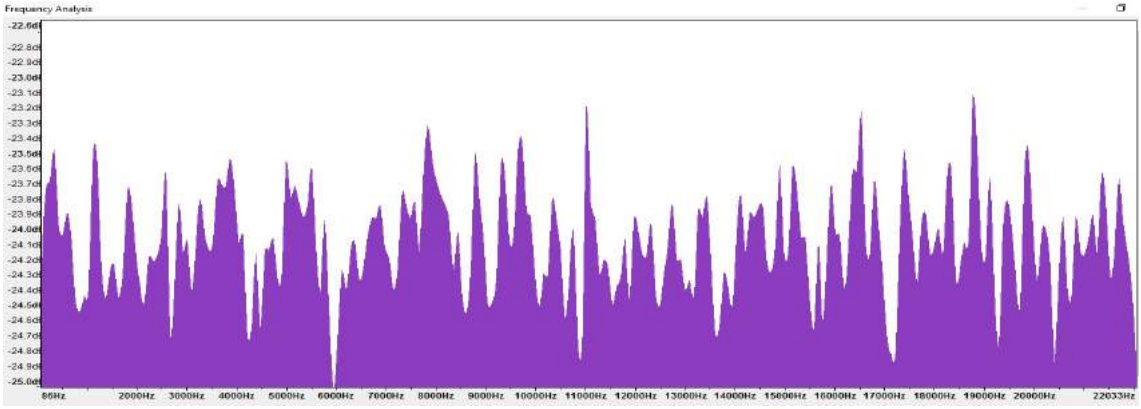
61. 80Hz + 125Hz ondas em dente de serra + 200Hz + 315Hz ondas quadradas

62. 80Hz + 125Hz + 200Hz ondas em dente de serra + 315Hz onda quadrada

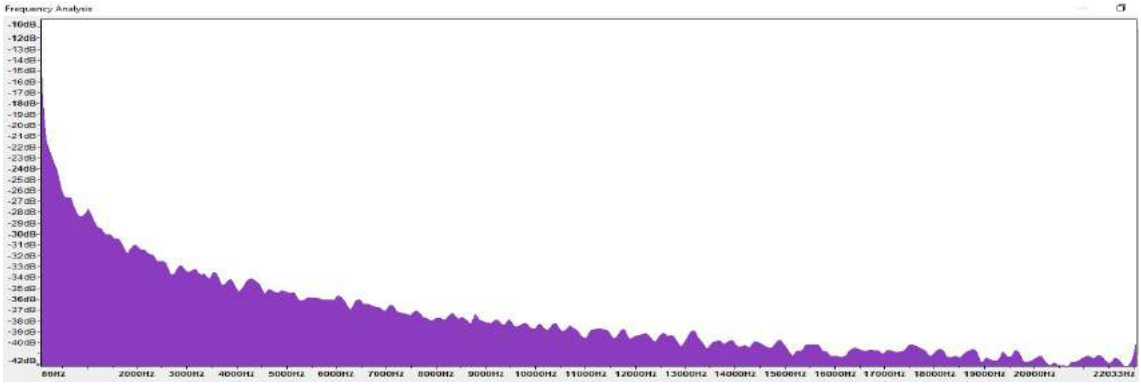
Ruídos:

Foram ensaiados vários tipos de ruído cujas características são apresentadas sob a forma de análises de frequência.

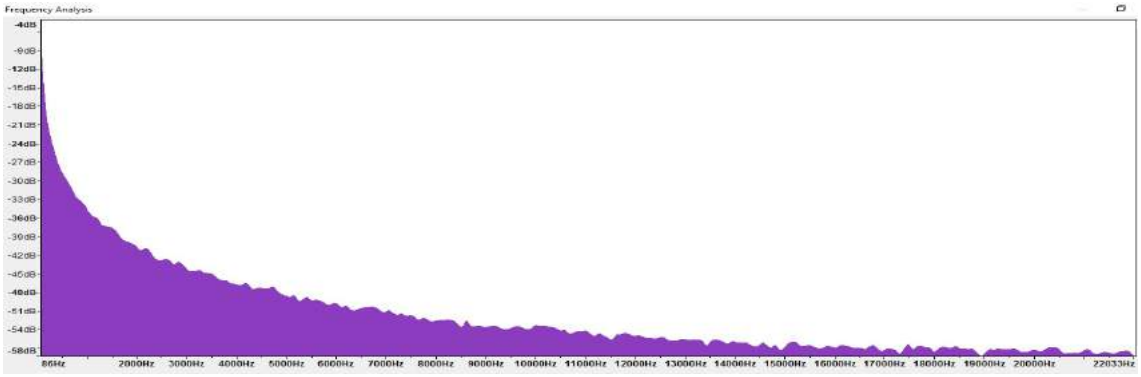
63. Ruído branco



64. Ruído rosa



65. Ruído browniano



Sequências sonoras:

Foram testados diversos tipos de sequências sonoras, i.e. em que há alterações ao longo do tempo. Com as sequências sonoras criadas e testadas procurou-se explorar os efeitos de interrupção e contraste com intervalos variáveis entre sons e diferentes frequências.

Dada a quantidade de variações testadas, apenas para algumas, a título de exemplo, se apresentam representação gráficas, concretamente espectrogramas e formas de onda, em que a escala temporal é em segundos. Para as sequências sonoras mais simples, em que a indicação da frequência, do tipo de onda, e duração são suficientes para as caracterizar, não são apresentados espectrogramas nem formas de onda.

Sequências com sucessão de sons alternando com intervalos de silêncio

66. 200Hz sinusoidal durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s
67. 200Hz quadrada durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz quadrada durante 1s > silêncio 2s
68. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz dente-de-serra durante 1s > silêncio 2s
69. 200Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 1s > 1000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s
70. 200Hz sinusoidal durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s
71. 200Hz sinusoidal durante 0,5s > silêncio 1s > 1000Hz sinusoidal durante 0,5s > silêncio 2s
72. 200Hz + 400Hz sinusoidais durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz + 1500Hz sinusoidais durante 1s> silêncio 2s
73. 200Hz + 400Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz + 1500Hz sinusoidais durante 1s > silêncio 2s
74. 200Hz sinusoidal durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s

75. 200Hz sinusoidal durante 2s > silêncio 2s > 1500Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s

76. 200Hz sinusoidal durante 2s > silêncio 2s > 2000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s

77. 200Hz sinusoidal durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz + 1500 Hz sinusoidais durante 1s > silêncio 2s

78. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s

79. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 1500Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s

80. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 2000Hz sinusoidal durante 1s > silêncio 2s

81. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 1000Hz dente-de-serra durante 1s > silêncio 2s

82. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 1500Hz dente-de-serra durante 1s > silêncio 2s

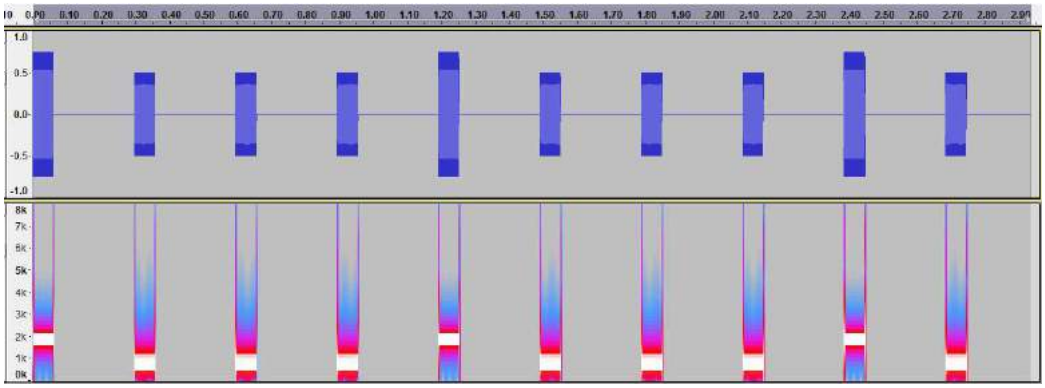
83. 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 2s > 2000Hz dente-de-serra durante 1s > silêncio 2s

84. 100 Hz + 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 1s > 1000Hz dente-de-serra durante 1s > silêncio 1s

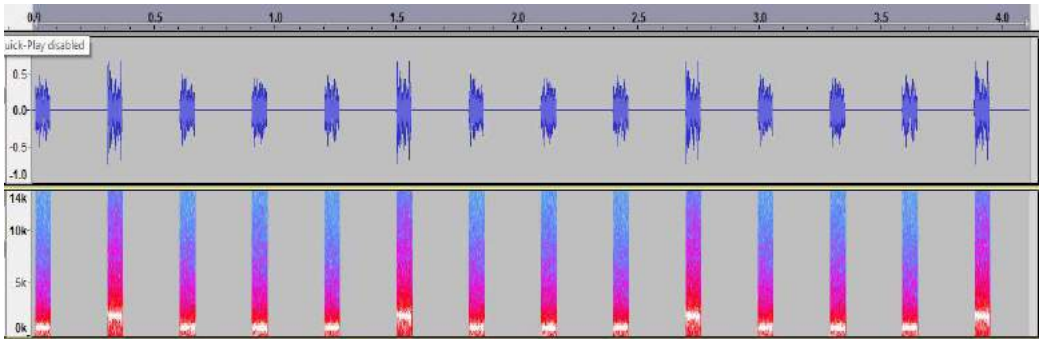
85. 100Hz + 200Hz dente-de-serra durante 2s > silêncio 1s > 1500Hz dente-de-serra durante 1s > silêncio 1s

Sons do tipo click, de curta e igual duração e com alteração de frequência em intervalos regulares, separados por períodos de silêncio mais longos e de igual duração.

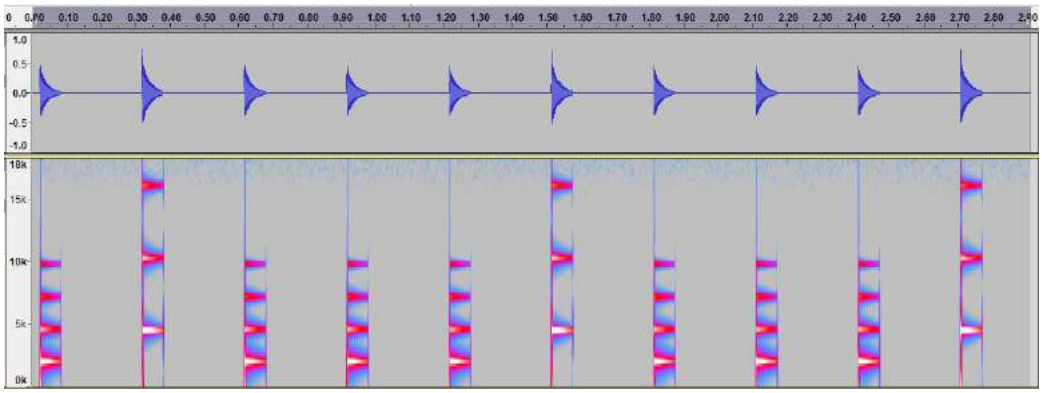
86. Click 1A



87. Click 1B

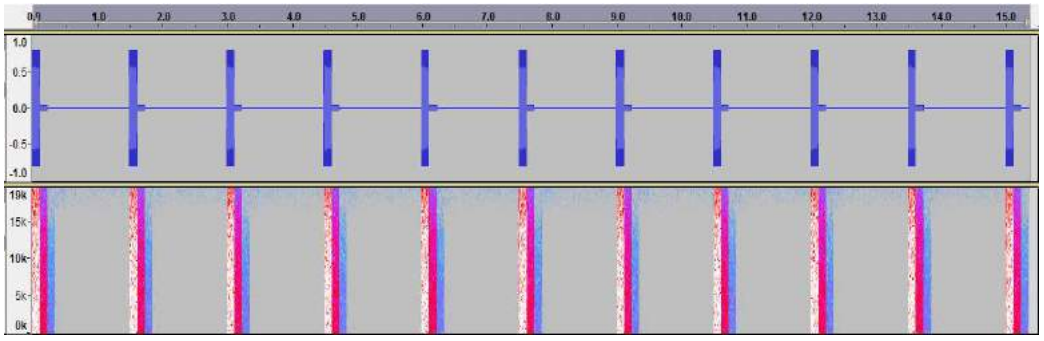


88. Click 1C

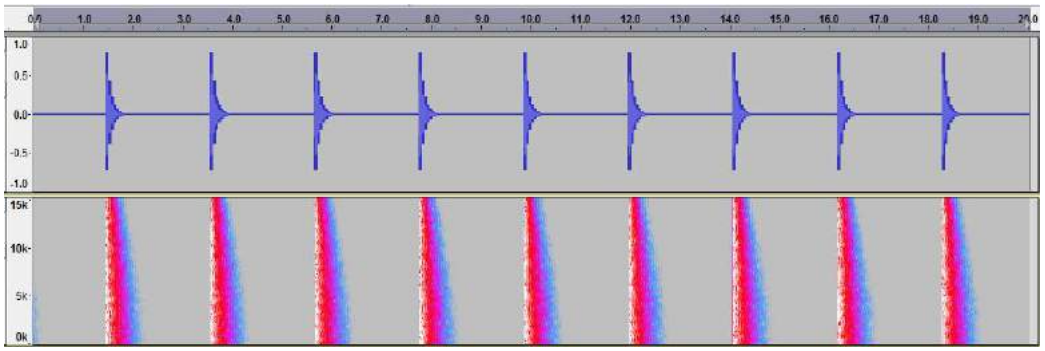


Sons do tipo pluck, som com alguma semelhança com uma corda dedilhada, repetidos a intervalos regulares, em que a um ataque inicial forte se segue uma atenuação.

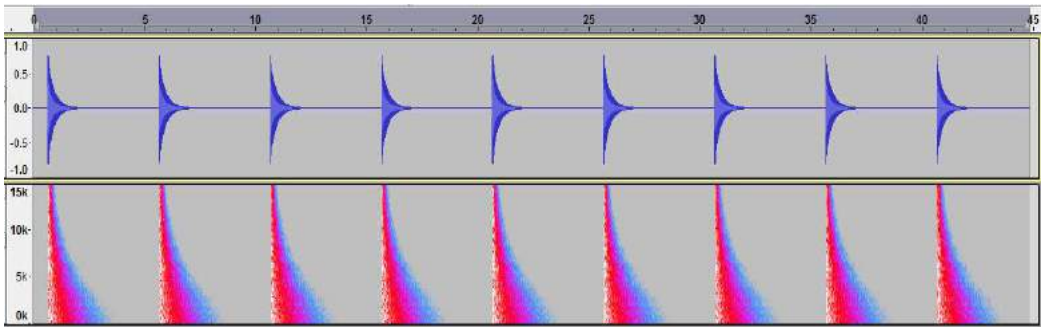
89. Pluck 1A



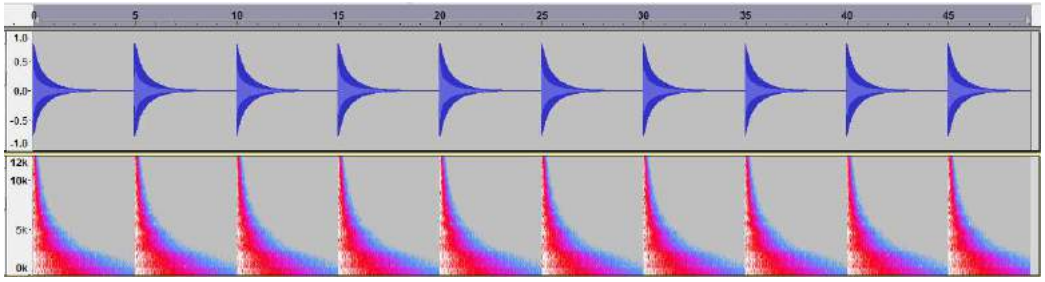
90. Pluck 1B



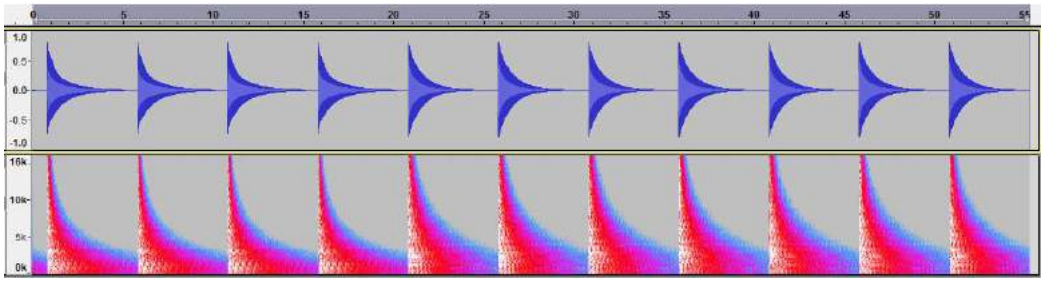
91. Pluck 1C



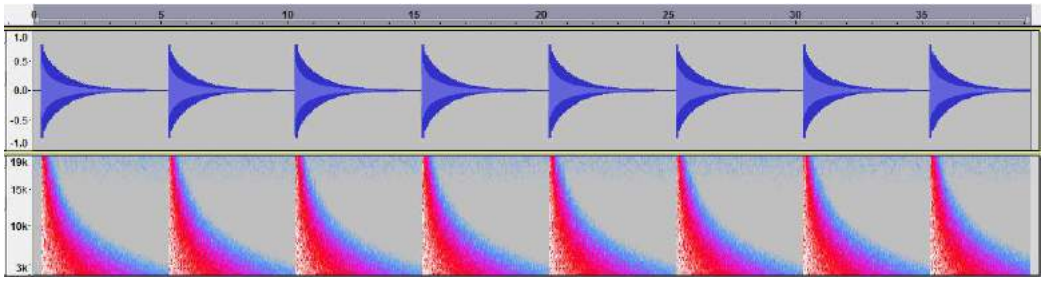
92. Pluck 2A



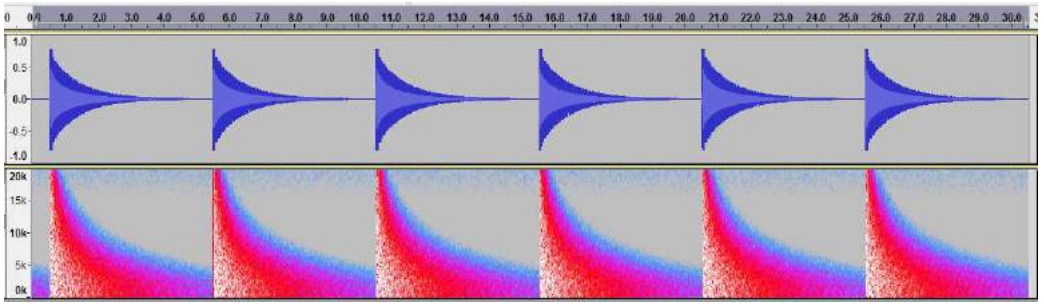
93. Pluck 2B



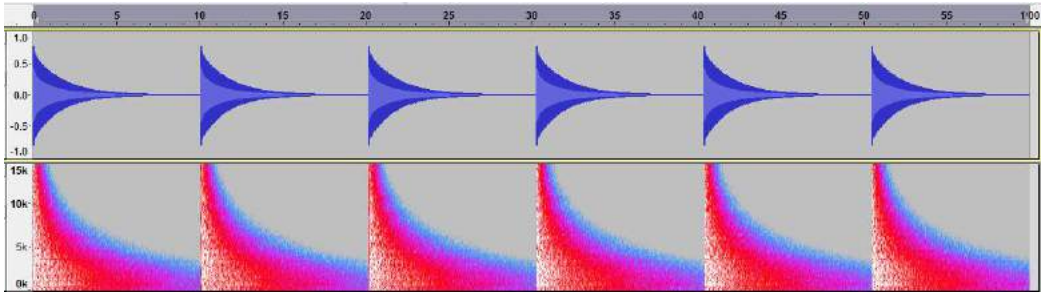
94. Pluck 2C



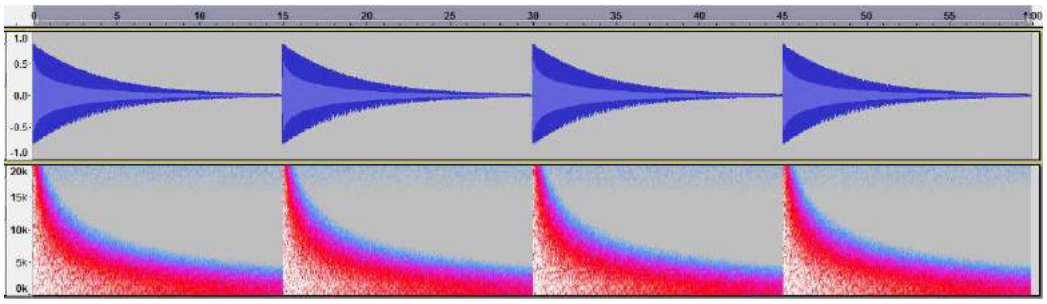
95. Pluck 2D



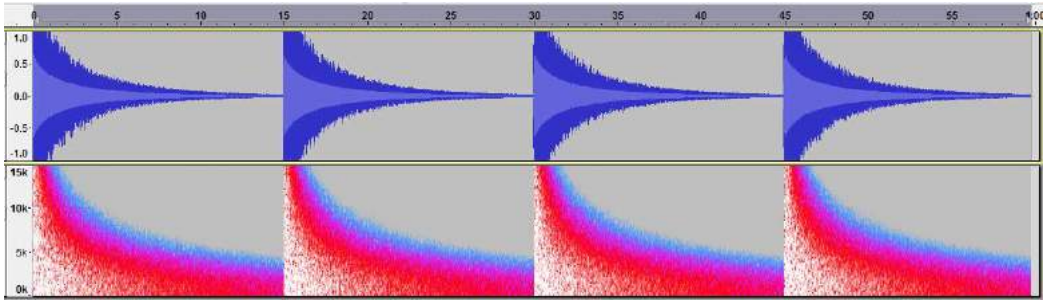
96. Pluck 3



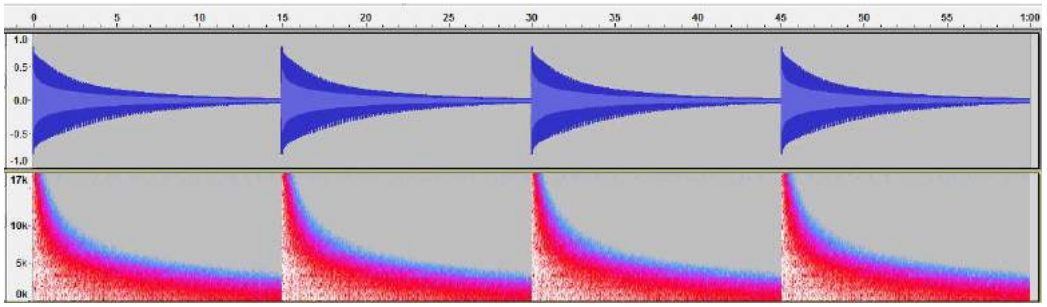
97. Pluck 4



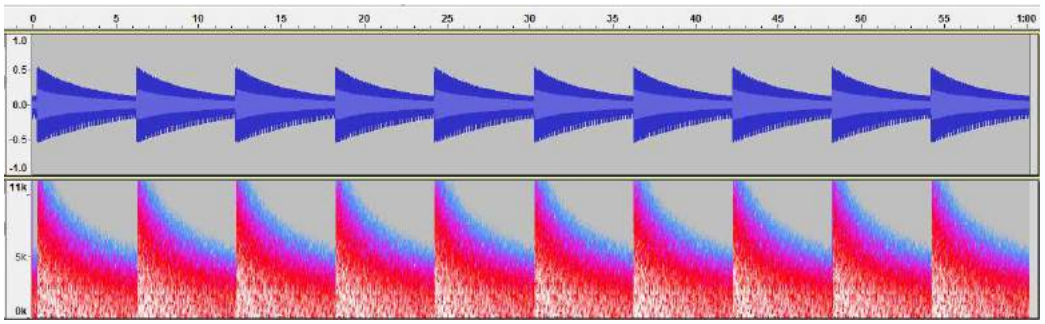
98. Pluck 5



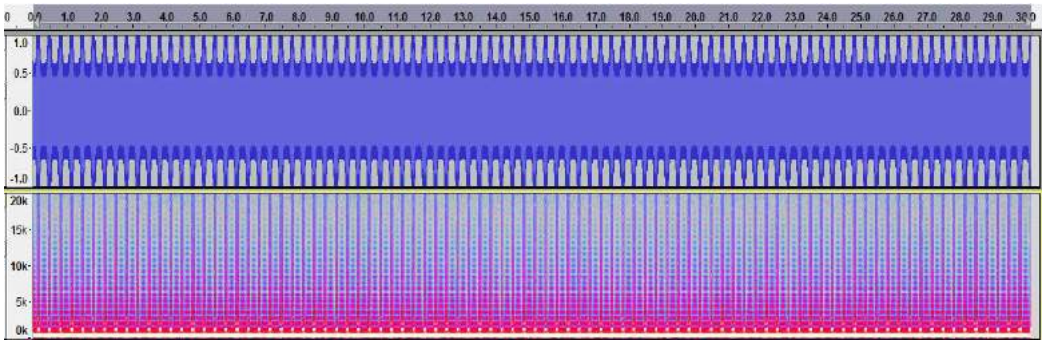
99. Pluck 6



100. Pluck 7



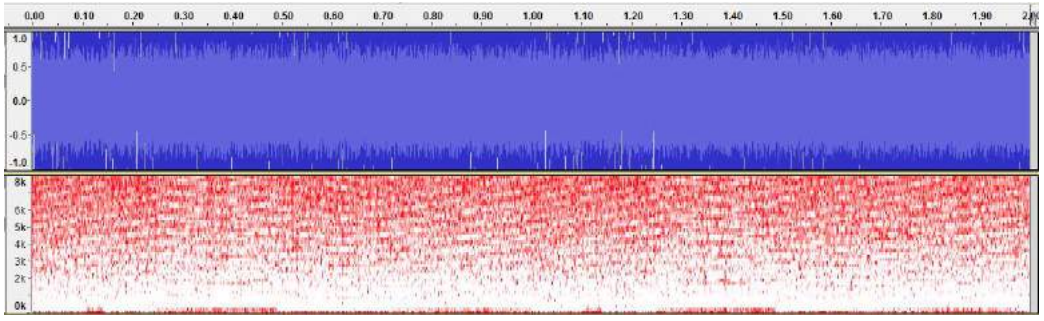
101. Som Wahwah, com variantes

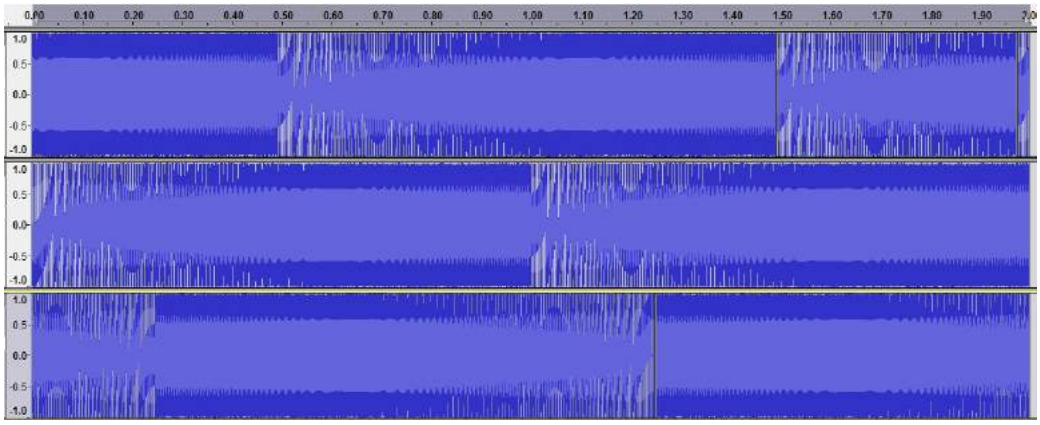


Sequências sonoras integrando transientes com frequência modulada, i.e. com frequência variável no tempo. As representações gráficas não são elucidativas nestes casos devido às sobreposição de transientes ascendentes e/ou descendentes.

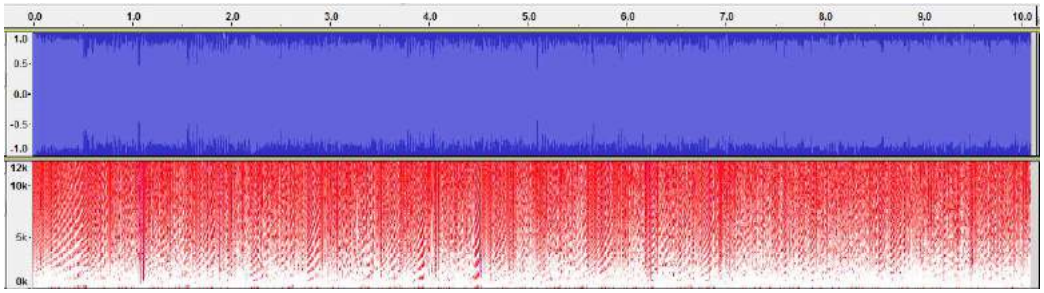
102. Chrp 200Hz-1000Hz dente-de-serra ascendentes de 1s e descendentes de 1s sobrepostos com desfasamento; além do espectrograma e da forma de onda que resultam da sobreposição dos vários componentes, apresentam-se também neste caso, a título ilustrativo, as formas de onda para as 3 bandas de som separadas, sendo as duas primeiras ascendentes e a última descendente.

Foram testadas diversas variantes.

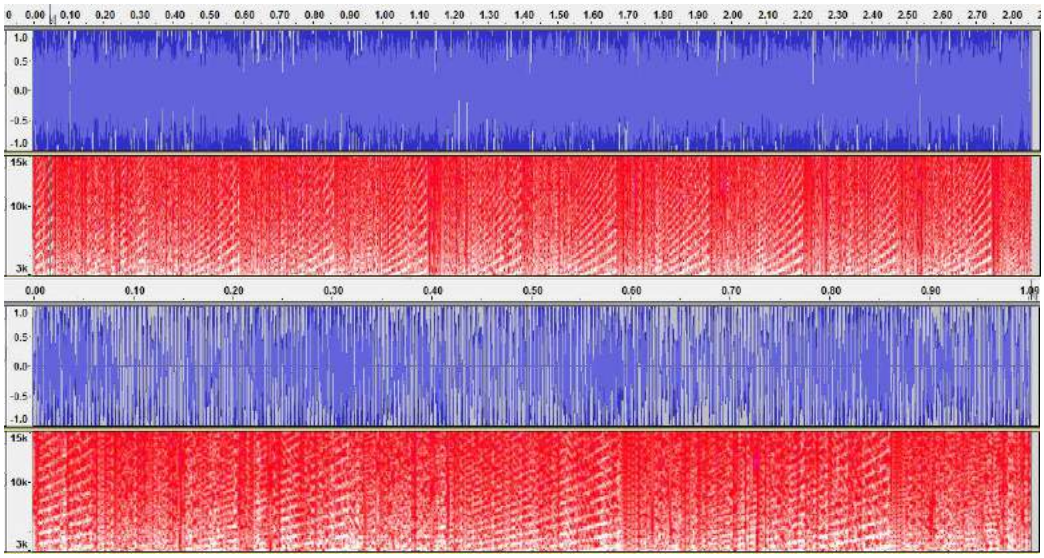




103. Chrp 200Hz-700Hz dente-de-serra ascendentes de 1 s, sobrepostos com desfasamento

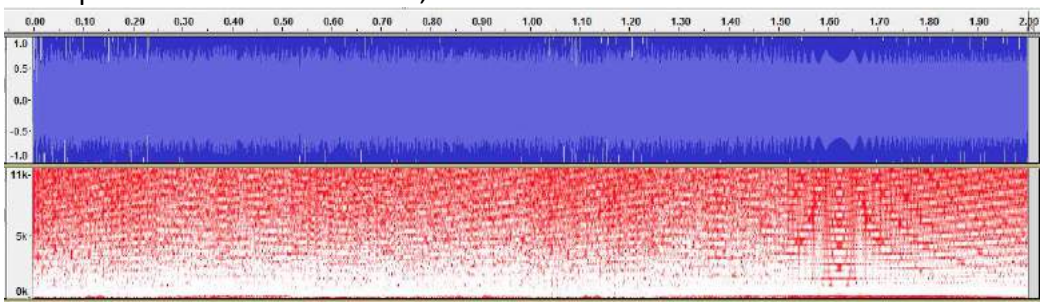


104. Chrp 200Hz-700Hz dente-de-serra ascendentes de 1 s sobrepostos com desfasamento + 250Hz dente-de-serra



Foram testadas diversas outras variantes com transientes 200Hz-700Hz ascendentes e descendentes com sobreposições desfasadas.

105. Chrp 300Hz-800Hz dente-de-serra ascendentes de 1s e descendentes de 1s sobrepostos com desfasamento; foram testadas variantes



3.3.2.4. Peixes

Foram utilizados nos testes iniciais grupos de 18 alburnos de comprimento total entre 13,5 e 16cm.

Os testes foram inicialmente realizados no canal pequeno e, posteriormente, repetidos no canal grande. Posteriormente, os testes das sequências sonoras com maior efeito sobre os peixes foram repetidos com um cardume maior, de 130 alburnos de comprimento total entre 7,5cm e 16cm.

3.3.3. Resultados

3.3.3.1. Cortinas de Bolhas

Os testes das barreiras ou cortinas de bolhas foram efectuados colocando a mangueira perfurada aproximadamente no centro do canal. Observou-se e confirmou-se que os peixes se movimentavam normalmente entre as duas metades do canal, atravessando a linha da mangueira para um lado e para outro, com uma permanência semelhante nas duas. Contabilizaram-se as transposições de peixes entre os 2 lados em 87,8/minuto.

Os testes tiveram início quando todo o grupo de 18 peixes se encontrava num dos lados, ligando-se o compressor e produzindo-se a cortina de bolhas de ar.

A cortina de bolhas produzida com a mangueira BSCL e compressor à potência máxima, de muito reduzida produção de bolhas, e sendo estas de dimensões muito pequenas, não alterou os comportamentos de deslocação dos peixes.

A cortina produzida pela mangueira MRH com o compressor a potência máxima já obteve reacções. As movimentações foram observadas e contabilizadas em períodos de 10 minutos, registando-se para os sucessivos períodos as seguintes movimentações:

1. todo o grupo transpôs e retornou
2. 8 peixes transpuseram e retornaram
3. todo o grupo transpôs e retornou, 7 peixes transpuseram
4. 21 transposições nos 2 sentidos
5. 37 transposições nos 2 sentidos
6. 41 transposições nos 2 sentidos

7. 38 transposições nos 2 sentidos

O teste da mangueira de orifícios em linha foi efectuado com o mesmo grupo de 18 indivíduos 14 dias depois. Os resultados das transposições para períodos sucessivos de 10 minutos de duração foram os seguintes:

1. 8 peixes transpuseram, 3 retornaram
2. 11 transposições nos 2 sentidos
3. 21 transposições nos 2 sentidos
4. 18 transposições nos 2 sentidos
5. 27 transposições nos 2 sentidos
6. 31 transposições nos 2 sentidos
7. 24 transposições nos 2 sentidos

Observou-se com a produção das bolhas alguma desorganização do grupo e alteração de padrões de actividade, concretamente, posicionamento mais junto ao fundo, interrupção de actividade alimentar e do padrão usual de exploração do espaço. Embora haja algum efeito na redução dos fluxos, a cortina não apresenta o efeito bloqueador pretendido.

3.3.3.2. Barreira de Som

Com estes testes procurou-se desenvolver e testar objectos sonoros que tivessem eficácia a repelir os peixes, provocando comportamentos de fuga se estes estivessem próximos da fonte aquando do início da emissão sonora mantendo-se depois a alguma distância da fonte, isto é exibindo um comportamento de evitamento. Inicialmente a fonte acústica foi colocada no canal sem emissão de som e confirmou-se que os alburnos continuavam a proceder à exploração de todo o espaço do canal, aproximando-se da fonte e contornando-a (figura 22). Os testes dos vários objectos sonoros pretendiam identificar quais os que apresentavam efectivo poder de repelir os peixes, mantendo-os afastados da fonte sonora enquanto durasse essa emissão acústica. Neste contexto, uma reacção típica seria o movimento de deslocação do cardume em direcção à fonte ser travado a uma determinada distância evitando os peixes aproximarem-se mais e

deflectindo o movimento para trás (figura 23). A distância mantida à fonte acústica seria a medida do efeito de repelência e portanto da eficácia do objecto sonoro como barreira bloqueadora.

A maioria dos objectos sonoros não provocou quaisquer respostas comportamentais. É o caso dos sons simples (objectos sonoros 1-39), sons com várias frequências (40-62) ruídos (63-65), sequências de som e silêncio (66-85), sons do tipo *click* (86-88). Nalguns casos, como com a generalidade dos sons de frequências simples, poderão mesmo ter ocorrido reacções de curiosidade porque os peixes se aproximaram do altifalante num movimento intencional e aí ficaram alguns segundos examinando a fonte acústica.
Os sons do tipo *pluck* (89-94) provocaram numa fase inicial alguma reacção, mas muito rapidamente, após períodos de algumas dezenas de segundos a 2-3 minutos, a reacção ao objecto sonoro desapareceu e as outras sequências sonoras deste tipo que foram posteriormente testadas não provocaram as reacções inicialmente observadas.

As sequências de maior complexidade, com transientes de curta duração 200Hz-700Hz ascendentes e descendentes 700Hz-200Hz com sobreposições desfasadas foram os que provocaram reacções mais expressivas, incluindo comportamentos de fuga e evitamento, mantendo os peixes afastamento relativamente à fonte acústica. Assim, no teste inicial, o cardume evidenciou uma reacção de fuga, mantendo de seguida um afastamento mínimo de 11m em relação à fonte acústica. Esta situação manteve-se durante os 15 minutos do teste. Com a repetição 3horas e 6horas depois manteve-se a resposta de evitamento. Na repetição 24 horas depois, o afastamento reduziu-se para 6,5m durante o período de 15 minutos do teste. Na repetição 24 horas depois, os peixes aproximaram-se da fonte a 0,8m, após 2 minutos a 0,4m e seguidamente deixou de se observar qualquer resposta de evitamento. A repetição posterior do teste desta sequência, em 5 outras ocasiões, não provocou resposta de evitamento.

Foram posteriormente testadas sequências sonoras com semelhanças com transientes ascendentes e descendentes sobrepostos e desfasados nos intervalos 300Hz-800Hz e 200Hz-1000Hz que provocaram reacções nos peixes mas não o evitamento com fuga e manutenção de afastamento. Parece poder-se por isso considerar que a habituação é

uma questão crítica na eficácia de barreiras sonoras que devem ficar activas durante longos períodos.

Pode-se constatar que, de uma forma geral, e comparando dentro de uma mesma frequência, as formas de onda em dente-de-serra são as que mais reacções provocam nos peixes, mesmo que não se traduzam em evitamento e fuga e apenas em alteração do comportamento, por exemplo, alterando o movimento que estavam a executar.

Observou-se em diversas situações que os peixes de menores dimensões se aproximam mais da fonte acústica do que os maiores, embora na generalidade das situações esta diferença não seja na prática relevante já que as distâncias dos peixes à fonte são pequenas e todos acabem mesmo por contornar a curta distância a fonte por trás.

Figura 22. Peixes acabando de contornar a fonte sonora (fim do canal, não visível, do lado esquerdo)

Figura 23. Peixes evitando a aproximação à fonte sonora (fim do canal, não visível, do lado esquerdo)

3.3.3.3. Barreira de Bolhas e Sons

Nos testes realizados conjugaram-se as configurações de cortina de bolhas de maior efeito – mangueiras perfuradas MRH e de orifícios em linha - com os objectos sonoros causadores das reacções mais expressivas – sequências sonoras do tipo *pluck* e sequências com transientes de frequência modulada (200Hz-700Hz) ascendentes e descendentes sobrepostos com desfasamento.

Com a utilização conjunta de cortina de bolhas e de som não se observou qualquer elevação de eficácia relativamente aos testes isolados de cada um dos tipos de barreira.

ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES 4

Foram ensaiados em dispositivos experimentais os comportamentos ou respostas comportamentais relevantes na tomada de decisão e na elaboração do projecto relativamente a uma barreira de demonstração que seja eficaz face aos objectivos de bloqueamento pretendidos.

Foi possível estabelecer valores relativos à capacidade de salto que permitem projectar uma barreira estrutural com eficácia e algum grau de selectividade já que algumas espécies indígenas, tais como os barbos, têm capacidade de salto muito superior não sendo bloqueadas por uma barreira dimensionada para ser intransponível por alburno.

A resposta a campos eléctricos foi desenvolvida caracterizando o grau de evitamento a correntes eléctricas pela distância aos eléctrodos tendo sido testadas diversas configurações de voltagem e frequência de pulsos. Um inconveniente deste tipo de barreiras tem a ver com o facto de não serem selectivas, isto é, afectarem as diversas espécies presentes no corpo de água.

Os ensaios de barreiras de bolhas e som colocaram maiores dificuldades, em particular a resposta ao som, desde logo pela ausência de experiência anterior da equipa numa área com alguma complexidade e que envolve tecnologia menos corrente e pela circunstância de não se dispor de qualquer base sobre a qual se pudesse construir uma abordagem experimental. As sequências sonoras e os dispositivos acústicos de barramento/desvio são comercializados por empresas que naturalmente protegem os seus interesses não tornando essa informação pública. Não existe audiograma de *Alburnus alburnus* nem informação disponível sobre a resposta da espécie aos diferentes tipos de som. Por essa razão ensaiou-se um conjunto muito alargado de objectos sonoros, desde os mais simples a sequências complexas, recorrendo a frequências dentro do intervalo coerente com os audiogramas conhecidos para outros ciprinídeos e estendendo-o também para frequências mais elevadas numa perspectiva

exploratória que se considerou justificável face ao desconhecimento sobre a resposta desta espécie.

Como resultado do trabalho experimental efectuado, foi possível concluir que:

- A altura dos saltos observados é função do comprimento do peixe e da altura da água em que se encontra; relativamente à capacidade de salto, 30cm foi a altura máxima registada, efectuado por alburnos com 15 e 15,3cm de comprimento; a profundidade do reservatório aquando destes saltos era de 20 e 22cm. Estes dados permitem conceber uma barreira com eficácia no bloqueamento de alburno e com alguma selectividade dado que diversas espécies de ciprinídeos nativos possuem uma superior capacidade de salto e portanto de transposição de barreiras físicas;

- A velocidade de natação mais elevada observadas em câmara experimental num período mínimo de 3 segundos foi 0,5m/s; considera-se que estes resultados não revelam de forma conclusiva a capacidade natatória da espécie contra a corrente já que, em curtas distâncias, foram observadas na natureza velocidades natatórias superiores;

- Foram estabelecidas condições de bloqueamento dos alburnos, em corrente contínua de 500V, sendo criado um vazio de 9m com frequências entre 70 e 90 pulsos/s; esta situação de vazio foi mantida com descargas de 0,5s de duração com uma frequência de 20 descargas/minuto; para estas condições de corrente eléctrica, que representam um risco baixo a moderado para os seres humanos, registou-se nos ensaios efectuados uma eficácia de 100%, ou seja, não se registaram quaisquer movimentos de aproximação aos eléctrodos para lá dessa distância limite e não se observou, portanto, qualquer caso de transposição da barreira eléctrica para montante;

- As bolhas afectam o comportamento dos peixes, alterando os seus padrões de comportamento (tipo de actividade, ocupação da coluna de água, exploração do espaço) mas com habituação, num curto período de tempo, a cortina produzida pelas 2 mangueiras perfuradas de maior débito de ar é regularmente transposta, embora se tenha constatado redução do fluxo. Não se observou, pois, uma eficácia no bloqueamento do movimento dos peixes que permita cumprir os objectivos pretendidos;

- Com a generalidade dos sons testados não se observou alteração de comportamento nos peixes. Nalgumas sequências mais complexas, envolvendo sobreposição de transientes desfasados, observou-se alterações de comportamento que, numa fase inicial, eram mesmo de evitamento com manutenção de distância à fonte superior a 10m. No entanto, com a habituação, esse efeito foi-se gradualmente esbatendo acabando por desaparecer totalmente;

- No geral, as formas de onda em dente-de-serra foram as mais eficazes a provocar uma reacção por parte dos alburnos;

- As intensidades sonoras em que se detectaram respostas foram elevadas, o que representaria um condicionamento à instalação deste tipo de barreiras em troços que atravessem povoações ou utilizados pelas populações.

Os resultados do trabalho experimental permitiram identificar a possibilidade de serem desenvolvidas barreiras estruturais eficazes dada a relativamente reduzida capacidade de salto de alburno, comparativamente com outras espécies da fauna piscícola nativa.

Quanto à barreira eléctrica, os ensaios desenvolvidos identificaram um conjunto de condições com capacidade de bloquear a movimentação dos peixes pelo que se considera esta uma opção a considerar face ao objectivo de criação de uma barreira com eficácia.

Os resultados relativos a barreira de bolhas e a barreira de som não suportam uma decisão favorável a este tipo de barreira comportamental face ao objectivo de a manter activa em contínuo. Parece correcto considerar que a habituação é um elemento crítico a considerar na eficácia de barreiras sonoras que devem ficar activas durante longos períodos. Para actuações pontuais esta opção poderá ter aplicabilidade.

REFERÊNCIAS 5

Almeida, D., P.V. Stefanoudis, D.H. Fletcher, C. Rangel & E. Silva 2014. Population traits of invasive bleak *Alburnus alburnus* between different habitats in Iberian fresh waters. Limnologica, 46: 70-76.

Amoser, S. & F. Ladich 2003. Diversity in noise-induced temporary hearing loss in otophysine fishes. J. Acoust Soc Am, 113: 2170–2179.

Amoser, S., L.E. Wysocki & F. Ladich 2004. Noise emission during the first powerboat race in an Alpine lake and potential impact on fish communities. J Acoust Soc Am, 116 (6): 3789–3797.

Amoser, S. & F. Ladich 2005. Are hearing sensitivities of freshwater fish adapted to the ambient noise in their habitats? The Journal of Experimental Biology 208: 3533-3542.

Bampfylde, C.J. & M.A. Lewis 2007. Biological control through intraguild predation: case studies in pest control, invasive species and range expansion. Bulletin of Mathematical Biology, 69: 1031–1066.

Bernardo, J.M., M. Ilhéu, P. Matono & A.M. Costa 2003. Interannual variation of fish assemblage structure in a Mediterranean river: implications of streamflow on the dominance of native or exotic species. River Research and Applications, 19: 521–532.

Bird, D.J. & I.G. Cowx. 1993. The selection of suitable pulsed currents for electric fishing in freshwater. Fisheries Research, 18: 363-376.

Blanchet, S., G. Loot, G. Grenouillet & S. Brosse 2007. Competitive interactions between native and exotic salmonids: a combined field and laboratory demonstration. Ecology of Freshwater Fish, 16: 133–143.

Bunt C.M., T. Castro-Santos & A. Haro (2012) Performance of fish passage structures at upstream barriers to migrations. River Res Appl 28:457–478.

Burnard, D., R.E. Gozlan & S.W. Griffiths 2008. The role of pheromones in freshwater fishes. Journal of Fish Biology, 73: 1–16.

Caiola, N. & A. Sostoa 2005. Possible reasons for the decline of two native toothcarps in the Iberian Peninsula: evidence of competition with the introduced Eastern mosquitofish. Journal of Applied Ichthyology, 21: 358–363.

Clarkson, R.W. 2004. Effectiveness of electrical fish barriers associated with the Central Arizona Project. North American Journal of Fisheries Management, 24: 94-105

Clavero, M., F. Blanco-Garrido & J. Prenda 2004. Fish fauna in Iberian Mediterranean river basins: Biodiversity, introduced species and damming impacts. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater ecosystems, 14(6): 575–585.

Cordova, M.S. & C.B. Braun 2007. The use of anesthesia during evoked potential audiometry in goldfish (*Carassius auratus*). Brain, 1153: 78-83.

Crawford, J.D. 1997. Hearing and acoustic communication in mormyrid electric fishes. Mar Fresh Behav Physiol, 29: 65–86.

Costedoat, C., N. Pech, M.D. Salducci, R. Chappaz & A. Gilles 2005. Evolution of mosaic hybrid zone between invasive and endemic species of Cyprinidae through space and time. Biological Journal of the Linnean Society, 85: 135–155.

Doadrio, I. 2001. Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid, 364 pp.

Enger, P.S. 1966. Acoustic threshold in goldfish and its relation to the sound source distance. Comp Biochem Physiol, 18:859–868.

European Commission 2008. Draft Commission Regulation laying detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No. 708/2007 concerning use of alien and locally absent species in aquaculture. Committee for Fisheries and Aquaculture, 4-3. 03. ref. D 01960. Point 4 of the agenda: (Information and discussion). Brussels: CEC.

Fay, R.R. 2008. Sound source perception and stream segregation in non-human vertebrate animals. In: Yost,W.A. Popper, A.N. ,Fay, R.R.(eds) Auditory Perception of Sound Sources.

Fay, R.R. & A.N. Popper 2000. Evolution of hearing in vertebrates: The inner ears and processing. Hear Res, 149: 1–10.

Ferreira, T., J. Oliveira, N. Caiola, A. De Sostoa, F. Casals, R. Cortes, A. Economou, S. Zogaris, D. Garcia-Jalon, M. Ilheu, F. Martinez-Capel, D. Pont, C. Rogers & J. Prenda 2007. Ecological traits of fish assemblages from Mediterranean Europe and their responses to human disturbance. Fisheries Management and Ecology, 14: 473–481.

Ficke A.D., C.A. Myrick & N. Jud 2011. The swimming and jumping ability of three small great Plains fishes: implications for fishway design. Trans Am Fish Soc 140:1521–1531.

Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson & C.S. Holling 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, 35: 557–581.

García-Berthou, E., C. Alcaraz, Q. Pou-Rovira, L. Zamora, G. Coenders & C. Feo 2005. Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 62: 453-463.

Gozlan, R.E., E.J. Peeler, M. Longshaw, S. St-Hilaire & S.W. Feist 2006. Effect of microbial pathogens on the diversity of aquatic populations, notably in Europe. Microbes and Infection, 8: 1358–1364.

Gozlan, R.E., J.R. Britton, I. Cowx & G.H. Copp 2010. Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. Journal of Fish Biology, 76: 751-786.

Hamel, M.J., M.L. Brown, & S. R. Chipps. 2008. Behavioral responses of rainbow smelt to in situ strobe lights. North American Journal of Fisheries Management, 28: 394-40

Hänfling, B., P. Bolton, M. Harley & G.R. Carvalho 2005. A molecular approach to detect hybridisation between crucian carp (*Carassius carassius*) and non-indigenous carp species (*Carassius* spp. and *Cyprinus carpio*). Freshwater Biology, 50: 403–417.

Haro, A., T. Castro-Santos, J. Noreika & M. Odeh 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 61(9): 1590–1601.

Hawkins, A.D. 1993. Underwater sound and fish behaviour. In: Pitcher, T. (Ed.)Behaviour of Teleost Fishes, pp. 129-169. Chapman and Hall, London, U.K.

Hawkins, A.D. & A.A. Myrberg, 1983. Hearing and sound communication under water. In: B. Lewis (ed.) Bioacoustics, A Comparative Approach, pp. 347–405. Academic Press, London, U.K.

Hermoso, V., M. Clavero, F. Blanco-Garrido & J. Prenda 2009. Assessing freshwater fish sensitivity to different sources of perturbation in a Mediterranean basin. Ecology of Freshwater Fish, 18: 269–281.

Holliman, F.M. 2010. Operational protocols for electrical barriers on the Chicago Sanitary and Ship Canal: influence of electrical characteristics, water conductivity, behavior, and water velocity on risk for breach by nuisance invasive fishes. Smith-Root, Inc., Vancouver, WA.

Hocutt, C.H., 1980. Behavioral barriers and guidance systems. In: C.H. Hocutt, J.R. Stauffer, Jr., J.E. Edinger, L.W. Hall, Jr. and R.P. Morgan II (Editors), Power Plants: Effects on Fish and Shellfish Behavior, pp. 183-205. Academic Press, New York.

Holthe E., E. Lund, B. Finstad, E.B. Thorstad & R.S. McKinley 2005. A fish selective obstacle to prevent dispersion of an unwanted fish species, based on leaping capabilities. Fish Manag Ecol 12:143–147

Katopodis C. & J.G. Williams 2012. The development of fish passage research in a historical context. Ecol Eng 48:8–18.

Kojima, T., H. Ito, T. Komada, T. Taniuchi & T. Akamatsu, 2005. Measurements of auditory sensitivity in common carp *Cyprinus carpio* by the auditory brainstem response technique and cardiac conditioning method. Fishes Sci, 71: 95-100.

Kuznetsov, Y.A. 1971. The behaviour of fish in the zone affected by a curtain of air bubbles. Pp 103-110 in Fish Behavior and Fishing Techniques, A. P. Alekeseeu (ed.) National Marine Fisheries Service, National Technical Information Service, Translation 71-50010, Washington, D.C.

Ladich, F. 1999. Did auditory sensitivity and vocalization evolve independently in otophysan fishes? Brain Behav Evol, 53: 288-304.

Ladich, F. & A.N. Popper 2004. Parallel evolution in fish hearing organs. In: Manley, G., A.N. Popper & R.R. Fay (Eds.), Evolution of the Vertebrate Auditory System, pp. 95-127. Springer Verlag, New York.

Lauritzen D.V., F. Hertel & M.S. Gordon 2005. A kinematic examination of wild sockeye salmon jumping up natural waterfalls. Journal of Fish Biology 67:1010–1020.

Lauritzen D.V., F.S. Hertel, L.K. Jordan & M.S. Gordon 2010. Salmon jumping: behavior, kinematics and optimal conditions, with possible implications for fish passageway design. Bioinspir. Biomim. 5:035006.

Leunda, P.M. 2010. Impacts of non-native fishes on Iberian freshwater ichthyofauna: current knowledge and gaps. Aquatic Invasions, 5 (3): 239-262.

Lodge, D.M., S. Williams, H.J. MacIsaac, K.R. Hayes, B. Leung, S. Reichard, R.N. Mack, P.B. Moyle, M. Smith, D.A. Andow, J.T. Carlton & A. McMichael 2006. Biological invasions: recommendations for U.S. policy and management. Ecological Applications, 16 (6): 2035–2054.

Luczkovich, J. J.; Sprague, M. W. & Krahforst, C. S. 2011. Acoustic Behavior. In: Farrell, A. P. (ed.), Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment, Academic Press, San Diego. 1: 311-320.

Maes, J., A.W.H. Turnpenny, D.R. Lambert, J.R. Nedwell, A. Parmentier & F. Ollevier 2004. Field evaluation of a sound system to reduce estuarine fish intake rates at power plant cooling water inlet. Journal of Fish Biology, 64: 938-946.

Maiolie, M.A., B. Harryman, & B. Ament. 2001. Response of free-ranging Kokanee to strobe lights. in C. Coutant (Ed.) Behavioral Technologies for Fish Guidance, pp. 27–35. American Fisheries Society, Symposium 26, Bethesda, MD

McIninch, S.P. & C.H. Hocutt 1987. Effects of turbidity on estuarine fish response to strobe lights. Journal of Applied Ichthyology, 3(3): 97–105.

Morán-López R. & O. Uceda Tolosa 2016. Relative leaping abilities of native versus invasive cyprinids as criteria for selective barrier design. Biol Invasions 19: 1243–1253

Myrberg, A.A. & J.Y. Spires 1980. Hearing in damselfishes: an analysis of signal detection among closely related species. J Comp Physiol, 140: 135–144.

Nedwell, J.R., B. Edwards, A.W.H. Turnpenny & J. Gordon 2004. Fish and marine mammal audiograms: a summary of available information. Subacoustech Report ref: 534R0214, www.subacoustech.com.

Nemeth, R.S. & J.J. Anderson 1992. Response of juvenile coho and chinook salmon to strobe and mercury vapor lights. North American Journal of Fisheries Management, 12: 668-69.

Noatch M.R & C. D. Suski 2012. Non-physical barriers to deter fish movements. Environ. Rev. 20: 71-82.

Nooman M.J., J.W.A. Grant & C.D. Jackson 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. Fish Fish 12:450–464.

Ombredane D., G. Fontenelle, H. Ohresser & S. Rochedpeau 1987. Dam overpassing by migratory adult salmonids: an analysis of the leaping behavior with the view of a better management. Bull Fr Peche Prot Milieux Aquat 305:67–80.

Ovidio M., H. Capra & J.-C. Philipart 2007. Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout Salmo trutta, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers. Fish Manag Ecol 14:41–50.

Patrick, P.H., A.E. Christie, D. Sager, C. Hocutt, & J. Stauffer, Jr. 1985. Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier. Fisheries Research, 3:157-172.

Perry R. W., J. G. Romine, N. S. Adams, A. R. Blake, J. R. Burau, S. V. Johnston & T. L. Liedtke 2014. Using a non-physical behavioural barrier to alter migration routing of juvenile chinook salmon in the Sacramento-San Joaquin River Delta. River Res. Applic. 30: 192–203.

Popper, A.N. & Fay, R.R. 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. Brain Behav Evol, 41: 14–38.

Popper, A.N. & T.J. Carlson 1998. Application of sound and other stimuli to control fish behaviour. Transactions of the American Fisheries Society, 127: 673-707.

Popper, A.N. & R.R. Fay 2011. Rethinking sound detection by fishes. Hearing Research, 273: 25–36.

Rahel, F.J. 2000. Homogenization of fish faunas across the United States. Science, 288: 854–856.

Rahel, F.J. 2007. Biogeographic barriers, connectivity and homogenization of freshwater faunas: it's a small world after all. Freshwater Biology, 52: 696–710

Rahel, F.J. 2013. Intentional fragmentation as a management strategy in aquatic systems. Bioscience 63:362–372.

Richards, N.S., S.R. Chipps & M.L. Brown 2007. Stress response and avoidance behavior of fishes as influenced by high-frequency strobe lights. North American Journal of Fisheries Management, 27: 1310-1315.

Roscoe D.W. & S.G. Hinch 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. Fish Fish 11:12–33.

Ruebush, B.C. 2011. *In-situ* tests of sound-bubble-strobe light barrier technologies to prevent the range expansions of Asian Carp. Master Thesis of Science in Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois at Urbana-Champaign.

Schilt, C.R. 2007. Developing fish passage and protection at hydropower dams. Applied Animal Behaviour Science, 104 (3-4): 295–325.

Scholik, A.R. & Y. Y. Hong 2001. Effects of underwater noise on auditory sensitivity of a cyprinid fish. Hearing Research 152: 17–24.

Scholz, K. & F. Ladich 2006. Sound production, hearing and possible interception under ambient noise conditions in the topmouth minnow *Pseudorasbora parva*. Journal of Fish Biology, 69: 892-906.

Sonny, D., F.R. Knudsen, P.S. Enger, T. Kvernstuen & O. Sand 2006. Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant. Journal of Fish Biology, 69: 735-748.

Stokstad, E. 2003. Can well-timed jolts keep out unwanted exotic fish? Science, 11: 157-159.

Stuart I.G., A. Williams, J. McKenzie & T. Holt 2006. Managing a migratory pest species: a selective trap for common carp. N Am J Fish Manag 26: 888–893.

Swink, W.D. 1999. Effectiveness of an electrical barrier in blocking sea lamprey spawning migration on the Jordan River, Michigan. North American Journal of Fisheries Management, 19: 397-405.

Tejerina-Garro, F.L., M. Maldonado, C. Ibañez, D. Pont, N. Roset & T. Oberdorff 2005. Effects of natural and anthropogenic environmental changes on riverine fish assemblages: a framework for ecological assessement of rivers. Brazilian Archives of Biology and Technology, 48 (1): 91–108.

Vila-Gispert, A., C. Alcaraz & E. García-Berthou 2005. Life-history traits of invasive fish in small Mediterranean Streams. *Biological Invasions,* 7: 107-116.

Vinyoles, D., J.I. Robalo, A. de Sostoa, A. Almodóvar, B. Elvira, G.G. Nicola, C. Fernández-Delgado, C.S. Santos, I. Doadrio, F. Sardà-Palomera & V.C. Almada 2007. Spread of the alien bleak *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) (Actinopterygii, cyprinidae) in the Iberian Peninsula: The role of the reservoirs. Graellsia, 63 (1): 101-110.

Vitousek, P. M., H.A. Mooney, J. Lubchenco & J.M. Melillo 1997. Human domination of Earth's ecosystems. Science, 277**:** 494–499.

Weiss, B.A. 1966. Sensitivity in the goldfish (*Carassius auratus*) In: Cahn, P. (ed) Lateral line detectors. pp. 249-264. Indiana University Press. Bloomington.

Welton, J.S., W.R.C. Beaumont, M. Laddle & J.E.G. Masters 1997. Smolt trapping using acoustic techniques. Phase 1, Literature review and initial investigation of acoustic bubble screens. Environmental Agency R&D Technical Report W66, Bristol.

Welton, J.S., & R.T. Clarke 2002. The efficacy of air, sound and acoustic bubble screens in defleting Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts in the River Frome, UK. Fisheries Management and Ecology, 9: 11-18.

Yonekura, R., Y. Kohmatsu & M. Yuma 2007. Difference in the predation impact enhanced by morphological divergence between introduced fish populations. Biological Journal of the Linnean Society, 91: 601–610.

Zelick, R., D.A. Mann & A.N. Popper 1999. Acoustic communication in fishes and frogs. In: Fay, R.R & A.N. Popper (eds). Comparative Hearing: Fish and Amphibians, pp. 363 – 411. Springer-Verlag, New York.

Zielinski D.P., M. Hondzo & V.R. Voller 2014. Mathematical evaluation of behavioural deterrent systems to disrupt fish movements. Ecol. Mod. 272: 150-159.

Zielinski D. P. & P. W. Sorensen 2016. Bubble Curtain Deflection Screen Diverts the Movement of both Asian and Common Carp. North American Journal of Fisheries Management 36: 267-276.

Agradecimentos

Ao Prof. Manuel Rijo do Núcleo de Hidráulica e Controlo de Canais da Universidade de Évora pela disponibilização do canal experimental do Campus da Mitra e ao Eng. José Duarte pelo apoio na operação do canal.

A Direcção do LNEC, à Engª Teresa Viseu Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas (NRE), e à Engª Juana Fortes, Chefe do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, do Departamento de Hidráulica e Ambiente, pela autorização de utilização dos canais e pela permanente disponibilidade.
Ao Engº Jan Andrée Hilário, à Dra. Maria José Henriques, à Engª Joana Simões, ao Sr. Marques e ao Sr. Moreira, do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC, por todo o apoio nas mais variadas situações.